

Aus dem Onderstepoort Veterinary Institute des Agricultural Research Council
der Republik Südafrika

Eingereicht über das Institut für Geflügelkrankheiten
der Justus-Liebig-Universität Gießen

**Quantitativer Nachweis wichtiger Mengen- und Spurenelemente in
Serum, Leber, Knochen und Vollblut sowie einige andere
Gewebeparameter und Daten von gesunden, südafrikanischen
Farmstraußen (*Struthio camelus var. domesticus*) im Schlachtagter**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades beim
Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Eingereicht von
KLAUS BISSINGER

Gießen 2000

Aus dem Onderstepoort Veterinary Institute des Agricultural Research Council
der Republik Südafrika

Betreuer: Dr. F. W. Huchzermeyer, Ph.D.

Eingereicht über das Institut für Geflügelkrankheiten
der Justus-Liebig-Universität Gießen

im Fachbereich vertreten durch: Prof. Dr. E. F. Kaleta

**Quantitativer Nachweis wichtiger Mengen- und Spurenelemente in
Serum, Leber, Knochen und Vollblut sowie einige andere
Gewebeparameter und Daten von gesunden, südafrikanischen
Farmstraußen (*Struthio camelus var. domesticus*) im Schlachtagter**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades beim
Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Eingereicht von
KLAUS BISSINGER
Tierarzt aus Nufringen (Baden-Württemberg)

Gießen 2000

Mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekan:

Prof. Dr. Dr. h.c. H. Bostedt

1. Berichterstatter:

Dr. F. W. Huchzermeyer, Ph.D.

2. Berichterstatter:

Prof. Dr. E. F. Kaleta

Tag der mündlichen Prüfung:

14.02.2000

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG	1
2.	LITERATURÜBERSICHT	5
2.1	PHYSIOLOGISCHE BEDEUTUNG DER VERSCHIEDENEN MINERALSTOFFE	5
2.1.1	Allgemeines und Einteilung der Mineralstoffe	5
2.1.2	Kalzium (Ca)	6
2.1.3	Phosphor (P)	11
2.1.4	Magnesium (Mg)	13
2.1.5	Zink (Zn)	14
2.1.6	Eisen (Fe)	15
2.1.7	Kupfer (Cu)	17
2.1.8	Mangan (Mn)	20
2.1.9	Selen (Se)	21
2.1.10	Chrom (Cr)	22
2.1.11	Kobalt (Co)	23
2.1.12	Natrium (Na), Kalium (K) und Chlor (Cl)	25
2.1.13	Blei (Pb)	27
2.1.14	Arsen (As)	28
2.1.15	Cadmium (Cd)	28
2.1.16	Silizium (Si)	29
2.1.17	Fluor (F)	30
2.1.18	Aluminium (Al)	31
2.2	MENGEN- UND SPURENELEMENTWERTE BEIM GESUNDEN STRAUSS UND VERGLEICHEND BEI ANDEREN RATITEN, GEFLÜGEL UND HAUSSÄUGETIEREN	31
2.2.1	GENERELLE INFORMATIONEN ZU EINHEITEN UND ZU KONZENTRATIONEN IN GEWEBEN UND KÖRPERFLÜSSIGKEITEN, SOWIE ZU DEN BETRACHTETEN SPEZIES	31
2.2.1.1	Abkürzungen in den Tabellen der Literaturwerte	36

2.2.2	KALZIUM-WERTE	37
2.2.2.1	Serum - Kalzium	37
2.2.2.2	Leber - Kalzium	38
2.2.2.3	Knochen - Kalzium	38
2.2.3	PHOSPHOR-WERTE	44
2.2.3.1	Serum - Phosphor	44
2.2.3.2	Leber - Phosphor	45
2.2.3.3	Knochen - Phosphor	45
2.2.4	MAGNESIUM-WERTE	53
2.2.4.1	Serum - Magnesium	53
2.2.4.2	Leber - Magnesium	53
2.2.4.3	Knochen - Magnesium	53
2.2.4.4	Vollblut - Magnesium	53
2.2.5	ZINK-WERTE	58
2.2.5.1	Serum - Zink	58
2.2.5.2	Leber - Zink	58
2.2.5.3	Knochen - Zink	58
2.2.6	EISEN-WERTE	62
2.2.6.1	Serum - Eisen	62
2.2.6.2	Leber - Eisen	62
2.2.6.3	Knochen - Eisen	62
2.2.6.4	Vollblut - Eisen	62
2.2.7	KUPFER-WERTE	65
2.2.7.1	Serum - Kupfer	65
2.2.7.2	Leber - Kupfer	65
2.2.7.3	Knochen - Kupfer	66
2.2.8	MANGAN-WERTE	68
2.2.8.1	Serum - Mangan	68
2.2.8.2	Leber - Mangan	68
2.2.8.3	Knochen - Mangan	69

2.2.9	SELEN-WERTE	70
2.2.9.1	Serum - Selen	70
2.2.9.2	Leber - Selen	70
2.2.9.3	Vollblut - Selen	71
2.2.10	CHROM-WERTE	72
2.2.10.1	Serum - Chrom	72
2.2.10.2	Leber - Chrom	72
2.2.11	KOBALT-WERTE	72
2.2.11.1	Serum - Kobalt	72
2.2.11.2	Leber - Kobalt	73
2.2.12	NATRIUM-WERTE	73
2.2.12.1	Serum - Natrium	73
2.2.13	KALIUM-WERTE	76
2.2.13.1	Serum - Kalium	76
2.2.14	CHLOR-WERTE	78
2.2.14.1	Serum - Chlor	78
2.2.15	BLEI-WERTE	79
2.2.15.1	Leber - Blei	79
2.2.15.2	Knochen - Blei	80
2.2.16	ARSEN-WERTE	81
2.2.16.1	Leber - Arsen	81
2.2.17	CADMIUM-WERTE	82
2.2.17.1	Leber - Cadmium	82
2.2.18	SILIZIUM-WERTE	83
2.2.18.1	Knochen - Silizium	83
2.2.19	FLUOR-WERTE	83
2.2.19.1	Knochen - Fluor	83

2.2.20	ALUMINIUM-WERTE	84
2.2.20.1	Knochen - Aluminium	84
2.3	WEITERE WERTE BEI LEBER- UND KNOCHENPROBEN	85
2.3.1	Feuchtigkeitsgehalt in frischen und Formalin-gelagerten Leberproben	85
2.3.2	Rohascheanteil von Knochen	86
2.4	BEINPROBLEME UND -DEFORMATIONEN BEI STRAUSSEN SOWIE BEI ANDEREN RATITEN UND BEIM GEFLÜGEL	90
2.4.1	Gegrätschte Beine (Splayed legs, Spraddle legs)	94
2.4.2	Verdrehte Zehen (Twisted, rolled oder curled toes)	94
2.4.3	Unterschenkeldrehung / Tibiotarsus-Rotation (Tibiotarsal rotation, Twisted legs)	95
2.4.4	Valgus-Rotation (Valgus rotation)	101
2.4.5	Dislozierte Sehnen (Slipped tendons)	102
2.4.6	Osteomalazie (Osteomalacia)	102
2.4.7	Hypophosphatämische Rachitis (Hypophosphataemic rickets)	103
2.4.8	Klumpfuß (Clubbed feet)	104
2.4.9	Verkürzte Beine (Shortened legs)	105
2.4.10	Syndrom gebogener Beine (Bow leg syndrome, Leg bowing)	105
2.4.11	Vergrößerte Fersen (Enlarged hocks, Swollen hock joint)	107
2.4.12	Osteochondrose (Osteochondrosis)	108
2.4.13	Hyperkeratose der Fußballen (Hyperkeratosis of the footpad)	108
2.4.14	Zehenabszesse (Toe abscesses)	109
2.4.15	Tibiotarsale Dyschondroplasie beim Geflügel (Tibiotarsal dyschondroplasia)	109
2.5	ZIELE DER EIGENEN UNTERSUCHUNGEN	111

3.	MATERIAL UND METHODEN	112
3.1	MATERIAL	112
3.1.1	HERKUNFTSGEBIET DER UNTERSUCHTEN SCHLACHTSTRAUSSE	112
3.1.2	ZAHL UND GESUNDHEITSSTATUS DER UNTERSUCHTEN TIERE	121
3.1.2.1	Zahl der untersuchten Tiere	121
3.1.2.2	Gesundheitsstatus der untersuchten Tiere	122
3.1.3	ERNÄHRUNG UND ALTER DER VERSCHIEDENEN GRUPPEN VON SCHLACHTSTRAUSSEN	124
3.1.4	ORTE DER PROBENNAHMEN	124
3.1.5	BESCHREIBUNG DER PROBENSAMMLUNG MIT EINER KURZEN BESCHREIBUNG DES SCHLACHTPROZESSES	126
3.1.6	GEWINNUNG UND LAGERUNG DER VERSCHIEDENEN PROBEN	129
3.1.6.1	Vorversuche zur Serumgewinnung	
3.1.6.2	Serumgewinnung und -lagerung	129
3.1.6.3	Vollblutgewinnung und -lagerung (Heparinblut)	130
3.1.6.4	Gewinnung und Lagerung der Leberproben	131
3.1.6.5	Gewinnung und Lagerung der Humeri	131
		132
3.2	METHODEN	133
3.2.1	CHEMISCHER AUFSCHLUSS DES SERUMS UND ANSCHLIESSENDE ANALYSEN	134
3.2.1.1	Serumaufschluß und Analysen für alle in den Serumproben untersuchten Elemente mit Ausnahme von anorganischem Phosphat und Chlorid	135

3.2.1.2	Bestimmung von anorganischem Phosphat im Serum	138
3.2.1.3	Bestimmung von Chlorid im Serum	139
3.2.2	CHEMISCHER AUFSCHLUSS DES VOLLBLUTS UND ANSCHLIESSENDE ANALYSEN	140
3.2.3	CHEMISCHER AUFSCHLUSS DER LEBERPROBEN UND ANSCHLIESSENDE ANALYSEN	143
3.2.4	VERASCHUNG DER HUMERI UND LÖSUNG DER ASCHE MIT SÄURE	145
3.2.5	ÜBERPRÜFUNG DER METHODEN UND DER ANALYSEN	149
3.2.5.1	Verwendung von Standard Reference Material®	
3.2.5.2	Anwendung der Standard-Additions-Methode	149
		151
3.2.6	BESTIMMUNG DES FEUCHTIGKEITSGEHALTS VON FRISCHEN UND FORMALIN-GELAGERTEN LEBERN	152
4.	ERGEBNISSE	154
4.1	VORVERSUCHE SOWIE METHODEN- UND ANALYSENKONTROLLE	155
4.1.1	Eignung verschiedener Blutprobenröhrchen zur Serumgewinnung	155
4.1.2	Vergleich der Feuchtigkeitsgehalte von separat untersuchten, frischen beziehungsweise Formalin-gelagerten Leberproben	156
4.1.3	Bestimmung der Trocknungsdauer für frische und Formalin-gelagerte Leberproben	157
4.1.4	Kontrolle der Methoden und der Analysen	
4.1.4.1	Kontrolle mit Hilfe von Standard Reference Material®	158
4.1.4.2	Kontrolle mit Hilfe der Standard-Additions-Methode	158
		159

4.2	ANALYSEN DER SERUMPROBEN	161
4.2.1	Dichte der Serumproben	161
4.2.2	Mineral- und Spurenelementgehalte im Serum	163
4.3	ANALYSEN DER LEBERPROBEN	170
4.3.1	Feuchtigkeitsgehalt der Leberproben	170
4.3.2	Mineral- und Spurenelementgehalte der Leberproben	172
4.4	ANALYSEN DER HUMERI	180
4.4.1	Trockenmassegehalt der Humeri	180
4.4.2	Rohaschegehalt der Humeri	180
4.4.3	Mineral- und Spurenelementgehalte der Knochenasche	183
4.4.4	Ca:P-Verhältnis in der Rohasche der Humeri	188
4.5	ANALYSEN DER VOLLBLUTPROBEN	190
5.	DISKUSSION	191
5.1	EIGNUNG DES MATERIALS ALS GRUNDLAGE FÜR REFERENZWERTE	191
5.2	VORVERSUCHE UND VERWENDETE METHODEN	192
5.2.1	Feuchtigkeitsgehalt und Trocknungsdauer von frischen beziehungsweise Formalin-gelagerten Leberproben	192
5.2.2	Verwendete Methoden	194
5.3	ANALYSEN DER SERUMPROBEN	195
5.3.1	Ionendiffusion und Hämolyseprobleme bei Serumproben	196
5.3.2	Serum-Dichte	199
5.3.3	Element-Konzentrationen im Serum	200
5.3.4	Verschiedene Faktoren, die die Konzentrationen im Serum beeinflussen können	209

5.4	ANALYSEN DER LEBERPROBEN	210
5.4.1	Feuchtigkeitsgehalt der Lebern	210
5.4.2	Element-Konzentrationen in den Lebern	212
5.4.3	Verschiedene Faktoren, die die Konzentrationen in der Leber beeinflussen können	218
5.5	ANALYSEN DER HUMERI	219
5.5.1	Trockenmassegehalt der Humeri	220
5.5.2	Rohascheanteil der Humeri	221
5.5.3	Element-Konzentrationen in der Rohasche der Humeri	223
5.5.4	Kalzium-Phosphor-Verhältnis in der Rohasche der Humeri	229
5.5.5	Verschiedene Faktoren, die die Konzentrationen in den Knochen beeinflussen können	231
5.6	ANALYSEN DER VOLLBLUTPROBEN	232
5.6.1	Element-Konzentrationen im Vollblut	232
5.6.2	Verschiedene Faktoren, die die Konzentrationen im Vollblut beeinflussen können	233
5.7	SCHLUSSBETRACHTUNG	234
6.	ZUSAMMENFASSUNG	238
7.	SUMMARY	241
8.	LITERATURVERZEICHNIS	244
9.	ANHANG	261
9.1	UMRECHNUNGSFAKTOREN FÜR VERSCHIEDENE EINHEITEN	261
9.2	ABKÜRZUNGEN	263

1. EINLEITUNG

Die Straußenindustrie ist mit einem Alter von etwa 130 Jahren in der weltweiten Landwirtschaft ein relativ junger Zweig. Sie hat während dieser Zeit sowohl einen unglaublichen Aufschwung, als auch einen totalen Zusammenbruch erlebt und dann mehr als ein halbes Jahrhundert gebraucht, um sich davon zu erholen. Erst in den letzten zehn bis fünfzehn Jahren hat sich die Straußenhaltung wieder zu einem nennenswerten Zweig der Landwirtschaft entwickelt.

Schon zur Zeit der frühen Zivilisationen der Ägypter, Assyrer und Babylonier vor einigen tausend Jahren waren Straußenfedern als Schmuck und Handelsware begehrt (SMIT, 1963). Seit dieser Zeit wurden Strauße ihres Federkleids wegen von Persien über die arabische Halbinsel und Nordafrika bis nach Südafrika gejagt. Von der Mitte des letzten Jahrhunderts an konnte die durch die internationale Modewelt kreierte, verstärkte Nachfrage nach Straußenfedern durch das Erlegen wilder Strauße nicht mehr gedeckt werden. Die Straußenhaltung als neuer Farmzweig in Südafrika begann um 1863 (SMIT 1963; NEL, 1995). Von da an verzeichnete sie immense Zunahmen. Das Gebiet um Oudtshoorn in der Kleinen Karoo wurde zu ihrem Zentrum. So weist die Statistik der Kapkolonie im Jahr 1865 zum ersten Mal 80 "domestizierte" Strauße vor, 1875 waren es schon 32.247 und 1895 253.463 (SMIT, 1963). Im Jahre 1913 wurde die Spitzenzahl von 776.313 Straußen registriert (SMIT, 1963). Straußenfedern standen an vierter Stelle der Exportgüter der Union Südafrika nach Gold, Diamanten und Wolle (NEL, 1995). Nachdem Straußenfedern zeitgleich mit dem Beginn des Ersten Weltkriegs außer Mode kamen, fiel die Zahl der Strauße in der Union Südafrika durch Schlachtung der Tiere innerhalb von nur 17 Jahren auf 32.528 im Jahr 1930 (SMIT, 1963).

Doch nicht nur in Südafrika wurden in den letzten gut 100 Jahren Strauße als landwirtschaftliche Nutztiere gehalten. Schon vor der Jahrhundertwende wurden Strauße aus verschiedenen Teilen Afrikas in andere Länder, wie Australien,

Neuseeland, Europa, Nord- und Südamerika exportiert (OSTERHOFF, 1979; NEL, 1995). Carl Hagenbeck hielt beispielsweise im Juni 1909 114 erwachsene Tiere auf seiner Straußenfarm in Stellingen und das erste Küken schlüpfte im selben Monat im Brutschrank (DUERDEN, 1909). Verglichen zu Südafrika war die Straußenhaltung in der übrigen Welt aber eher unbedeutend.

Nach dem Zusammenbruch blieb die Zahl der Strauße in Südafrika über vier Jahrzehnte zwischen 30.000 und 60.000 (SMIT, 1963). Erst mit der "Entdeckung" von Straußenleder und -fleisch als Zusatzprodukte zu den Federn in der Mitte der siebziger Jahre und dem damit verbundenen Wiederaufleben des Interesses am Strauß begann ein neuer Aufschwung für die weltweite Straußenindustrie, der bis 1997 anhielt. Haut und Fleisch stellen inzwischen fast den ganzen Wert (gut 95 %) eines Schlachtstraußes dar, wobei das Wertverhältnis dieser Produkte Ende 1997 bei etwa 75:25 (Haut:Fleisch) lag (ANONYM, 1997/98). Der Wert der Federn beträgt nur noch wenige Prozent des Gesamtwertes.

Der Aufwärtstrend der Straußenindustrie mit einem absoluten Hoch der Gewinne je Tier zwischen 1994 und 1996 erfuhr einen Einbruch um die Jahreswende 1996/97. Dieser wurde hauptsächlich durch einen Verfall der Preise für Straußenleder verursacht, der sicherlich unter anderem - ähnlich wie um 1914 bei den Straußenfedern - durch Modetrends bedingt war. Seitdem fallen die Gewinne pro Tier (lebend oder Schlachttier) zwar nur geringfügig, aber doch anhaltend (ANONYM, 1997/98).

Heutzutage werden Strauße in fünf Kontinenten gehalten und gezüchtet. Die Straußenhaltung gewinnt als Einkommenszweig in der Landwirtschaft immer mehr an Bedeutung. Dies wird deutlich bei einer Betrachtung der Bestandszahlen, wobei genaue Statistiken für die einzelnen Länder nur teilweise bestehen und nicht immer aktuell sind. In der Republik Südafrika wurde für 1995 ein Gesamtbestand von etwa 350.000 Tieren angenommen (ANONYM, 1995). In den USA soll der Bestand im Mai 1995 250.000 Tiere umfaßt haben (BALL, 1995), in

Australien waren es über 50.000 (VAN ZYL, 1996). Für Canada ist nur die Zahl von 3.500 legenden Hennen für 1995 vorhanden (VAN ZYL, 1996), im Vergleich dazu waren es 1993 32.000 legende Hennen in der Republik Südafrika (VAN ZYL, 1996). In Europa schätzten DEEMING et al. (1996) die Zahlen 1995 auf weniger als 10.000 Tiere mit Schwerpunkt in Großbritannien, Belgien und Holland. Diese Zahl kann allerdings als veraltet angesehen werden, da allein in Deutschland 1996 circa 5.000 Strauße gehalten wurden (G. REINER, persönliche Mitteilung, 1996). Zusätzlich wurden in den Mittelmeerländern, besonders in Italien und Spanien, innerhalb der letzten 2 - 3 Jahre sehr viele Straußenfarmen gegründet. In Afrika waren laut VAN ZYL (1996) die Zahlen für 1995/96 in Botswana 5.000, in Namibia mehr als 21.000 und in Zimbabwe 33.000 Strauße. Den Straußenbestand in Israel bezifferte er mit 25.000 und den in China mit 20.000 Tieren. Außerdem werden Strauße noch in vielen anderen Ländern gehalten, wie beispielsweise Neuseeland, Japan, Malaysia, Saudi-Arabien, sowie auch in Ländern Südamerikas und Skandinaviens.

Auch Schlachttierzahlen können als Indiz für die Bedeutung einer Nutztierspezies genommen werden. Nach VAN ZYL (1996) wurden 1995 in der Republik Südafrika etwa 170.000 Strauße geschlachtet und in den anderen Ländern zusammen weitere 15.000 - 20.000. In den Jahren 1996 und 1997 kann mit um circa 30 % höheren Schlachtzahlen gerechnet werden (ANONYM, 1995).

Als weiteres Beispiel für die wirtschaftliche Bedeutung von Straußenprodukten kann noch der Anstieg des deklarierten Importwertes für gegerbte Straußenhäute in den USA von circa 5 Mio US\$ im Jahr 1986 auf knapp 9,5 Mio US\$ im Jahr 1989 genommen werden (ANONYM, 1990c).

Aufgrund dieses Aufwärtstrends der Straußenindustrie wurde in den letzten 10 bis 15 Jahren die Forschung auf dem Gebiet der Strauße stark intensiviert. Verglichen zu anderen Nutztierspezies besteht aber immer noch ein immenser Aufholbedarf. So muß beispielsweise noch viel an der Produktivitätsoptimierung gearbeitet

werden. Kükenverluste in den ersten 6 Monaten spielen eine wichtige Rolle und hierbei nehmen Beindeformierungen einen wichtigen Platz ein. Die meisten Farmer berichten über Kükenverluste von einigen Prozent aufgrund von Beindeformierungen. In Einzelfällen können diese aber auf bis zu 30 - 50 % ansteigen. Die Ursachen hierfür sind bis jetzt noch nicht genau bekannt. Es werden verschiedene, oft in Kombination auftretende Faktoren vermutet, von denen die Ernährung, die Genetik und Traumata als die wichtigsten angesehen werden (HUCHZERMEYER, 1998).

Diese Arbeit hat das Ziel, Referenzwerte für Mengen- und Spurenelemente in verschiedenen Körpergeweben gesunder, ausgewachsener, jedoch noch nicht geschlechtsreifer Strauße zu erstellen, die dann die Grundlage für weitere Arbeiten im Kükenalter und letztendlich für Forschungen mit dem Ziel einer Verminderung der oben genannten Verluste sein sollen.

2. LITERATURÜBERSICHT

2.1 Physiologische Bedeutung der verschiedenen Mineralstoffe

2.1.1 ALLGEMEINES UND EINTEILUNG DER MINERALSTOFFE

Die Masse der im Wirbeltierkörper vorkommenden Mineralstoffe beläuft sich auf 3-4 % der Trockenmasse (TM) des Körpers (EGAN, 1976). Ihre Funktionen im Körper sind mannigfaltig. Sie halten den osmotischen Druck konstant und sind wichtige Bestandteile von Puffersystemen. Sie sind Bausteine von Enzymen, hemmen oder fördern Enzymsysteme und erstellen elektrische Potentialdifferenzen, wodurch sie die Reizbarkeit von und die Reizbeantwortung durch Gewebe ermöglichen. Außerdem sind sie die Hauptbausteine des knöchernen Skeletts und der Zähne (MÄNNER & BRONSCH, 1987). Um diese lebenswichtigen Funktionen sicherzustellen, verfügt der Körper über Regulationsmechanismen für die Aufnahme, Verteilung, Umverteilung und Ausscheidung der Mineralstoffe, auf die bei der Besprechung der einzelnen Elemente näher eingegangen wird.

Die Mineralstoffe werden in zwei Gruppen eingeteilt: Mengenelemente (auch Mineral- oder Makroelemente) und Spurenelemente (auch Mikroelemente). Es gibt zwei nah verwandte Definitionen für die Einteilung der vom Körper benötigten Elemente in eine der beiden Gruppen. Entweder richtet sich dies nach der Konzentration des Elements im Gesamtkörper oder nach der in der Nahrung benötigten Menge eines Elements. So beschreiben MÄNNER und BRONSCH (1987) die obere Grenze für ein Spurenelement als 50 mg/kg Lebendgewicht (entspr. 0,005 %), schlagen aber vor, die Grenze auf 70 mg/kg hochzusetzen, weil dies die durchschnittliche Konzentration von Eisen im Körper ist und Eisen ähnlich wie die anderen Spurenelemente wirkt. McDOWELL (1992) definiert die in der Nahrung in Konzentrationen von weniger als 100 mg/kg benötigten Elemente als Spurenelemente und die in höheren Konzentrationen (z.T. in den Prozentbereich reichend) benötigten als Mengenelemente.

Zu den Mengenelementen zählen Kalzium (Ca), Phosphor (P), Magnesium (Mg), die Elektrolyte Natrium (Na), Kalium (K), Chlor (Cl), sowie die in dieser Arbeit nicht behandelten Elemente Wasserstoff (H), Sauerstoff (O), Kohlenstoff (C), Stickstoff (N) und Schwefel (S) (EGAN, 1976).

Die nur in sehr geringen Konzentrationen im Körper vorkommenden Spurenelemente können in essentielle und akzidentelle Spurenelemente unterteilt werden (MÄNNER & BRONSCH, 1987; McDOWELL 1992). Als essentiell werden diejenigen Spurenelemente klassifiziert, die lebensnotwendig sind und nicht durch andere Elemente oder Verbindungen ersetzt werden können. Im Körper vorkommende Elemente ohne bislang erkannte physiologische Funktion werden als akzidentell bezeichnet. Die Liste der als essentiell erkannten Spurenelemente wurde gerade in den letzten vier Jahrzehnten immer länger. Hierzu gehören laut MÄNNER und BRONSCH (1987) die folgenden Elemente in der Reihenfolge ihrer Entdeckung: Eisen (Fe), Jod (I)(⊗ = in dieser Arbeit nicht besprochen), Kupfer (Cu), Mangan (Mn), Zink (Zn), Kobalt (Co), Molybdän (Mo) und Selen (Se). Auch Chrom (Cr), Zinn (Sn)(⊗), Vanadium (V)(⊗), Fluor (F), Silizium (Si), Nickel (Ni)(⊗), Arsen (As) und Blei (Pb) werden dazugerechnet; allerdings ist noch wenig über deren Wirkungsmechanismen bekannt. McDOWELL (1992) fügt diesen noch Bor (B)(⊗) und Lithium (Li)(⊗) hinzu. Beispiele aus der Reihe der etwa 20-30 akzidentellen Spurenelemente sind nach MÄNNER und BRONSCH (1987) Aluminium (Al), Barium (Ba)(⊗), Brom (Br)(⊗), Caesium (Cs)(⊗), Quecksilber (Hg)(⊗) und Strontium (Sr)(⊗), sie zählen auch Bor und Lithium hierzu.

2.1.2 KALZIUM (Ca)

Kalzium (Ca) macht 0,8-1,7 % der Körpermasse erwachsener Wirbeltiere aus und ist zu 97-99 % in den Knochen deponiert (MÄNNER & BRONSCH, 1987). Ca wird aktiv unter Energieaufwand aus dem Darmlumen durch die oberflächlichen Mukosazellen in die tieferen Mukosaschichten transportiert. Der Vitamin D-Metabolit 1,25-Dihydroxycholecalciferol fördert in den Mukosazellen die Bildung eines Ca-bindenden Proteins, das zusammen mit der Ca-abhängigen ATPase für

die Ca-Resorption zuständig ist. Der sogenannte Resorptionskoeffizient, also der Anteil von resorbiertem am oral aufgenommenen Ca, sinkt mit dem Alter der Tiere. Bei Vögeln ist während der Legetätigkeit eine deutliche Erhöhung dessen und damit der Ca-Resorption zu beobachten. So steigt der Resorptionskoeffizient nach MÄNNER und BRONSCH (1987) von 30 % bei Junghennen auf 65-75 % während der Legetätigkeit. Die Bindungsform des Ca hat ebenfalls Einfluß auf die Resorption. So werden leicht- und schwerlösliche Ca-Salze (Chlorid, Laktat, Glukonat, Azetat, Karbonat, Phosphat) besser resorbiert als Fettsäurensalze. Eine überhöhte (Roh-) Proteinaufnahme und Iod wirken resorptionshemmend in Bezug auf Ca (zum Einfluß überhöhter Proteinaufnahme auf Beinprobleme bei Straußenküken siehe 2.4.3 & 2.4.10). Die Aminosäuren Lysin und Arginin, sowie manche Kohlehydrate wirken hingegen resorptionsfördernd.

Plasma-Ca kommt in drei Formen vor: als ionisiertes, komplexgebundenes und proteingebundenes Ca, wobei die biologisch aktive Form (Ca^{2+}) 46-50 % des Gesamt-Ca ausmacht (MCDOWELL, 1992). MAYNARD et al. (1979) beschreiben, daß im Vergleich zu Normalwerten bei legenden Hennen während der Eiproduktion 3- oder 4-fach höhere Plasmawerte vorkommen können.

Das Ca-Ion erfüllt eine ganze Reihe lebenswichtiger Funktionen:

Optimale Ca-Konzentrationen sind nötig für Erregungsleitung durch Nerven und organische Reaktionen auf Reize, da Ca die Permeabilität der Zellmembranen beeinflusst. Ca ist beteiligt an der vegetativen Steuerung von Organen, sowie an enzymatischen Prozessen. Vor allem die Blutgerinnung, speziell deren Faktor IV, sowie Hydrolasen (z.B. α -Amylasen) sind hier zu nennen. Neben Adenosinmonophosphat ist es als second messenger bei der Sekretion verschiedener Hormone beteiligt.

Zusammen mit Phosphat ist Ca der Hauptbestandteil des Skeletts, wo es wichtige Stützfunktionen erfüllt und - wie schon gesagt - zu 97-99 %, bezogen auf das Gesamt-Ca des Körpers, deponiert wird. Es ist am Neu-, Ab- und Umbau von Knochensubstanz und am Ionenaustausch zwischen Knochen und Blut beteiligt.

Bei der Knochenmineralisierung werden Ca und P in den aus den Osteoblasten entstandenen Osteozyten angereichert und dann in Form von $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ aktiv in den Extrazellulärraum ausgeschieden. Durch Übersättigung mit $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ kommt es nach Überschreitung des Löslichkeitsprodukts zur Kristallisation, von wo aus sich Octacalciumphosphatcarbonat-Plättchen bilden. Diese apatitähnlichen Plättchen ordnen sich der Längsachse des Knochens entlang an und sind für die "Biegebruchfestigkeit" und die Elastizität des Knochens verantwortlich (MÄNNER & BRONSCH, 1987). Die Oberfläche der Apatitkristalle ist hydratisiert (amorph) und ermöglicht so einen schnellen Ionenaustausch mit dem Blut. Dadurch können kurzfristige Plasmaschwankungen ausgeglichen werden. Ausgetauscht werden vor allem Ca^{2+} - und PO_4^{3-} -Ionen gegen andere Kat- und Anionen (Mg^{2+} , Na^+ , Sr^+ , K^+ , HCO_3^- , F^-), während ein Teil der Ca^{2+} - und PO_4^{3-} -Ionen auch nur zur Plasmaauffüllung abgegeben wird. Geringe Zitrat- und Laktatanteile im Knochen erleichtern die Löslichkeit der Ionen (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Größere Mengen an benötigtem Ca werden durch Abbau von Knochensubstanz gestellt. Durch anaerobe Glykolyse in den Osteoblasten wird Laktat gebildet, das im Extrazellulärraum durch Erhöhung der Protonenkonzentration zu löslichen Ca-Laktat- und Phosphationen führt. Die Mobilisierungs-Geschwindigkeit von Ca aus dem Skelett sinkt mit zunehmendem Alter (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Vögel stellen in Bezug auf die Calciumdeponierung und -mobilisierung während der Legeperiode eine Ausnahme dar:

Ausgelöst durch eine Kombination von Oestrogenen und Androgenen, wird etwa 10 Tage vor der Legereife ein zusätzliches Mineraldepot im Röhrenknochenmark gebildet. Dieser sogenannte "medullary bone" (medulläre Knochen) wird beim Hausgeflügel vor allem in der Markhöhle von Femur und Tibiotarsus gebildet und besteht aus osteoidem Gewebe. Er wird aber auch in anderen langen Knochen gebildet, außer dem pneumatisierten Humerus, und kann sich auch in den Beckengürtelknochen und Rippen entwickeln. Im medullären Knochen können von jungen Legehühnern etwa 20 %, bei älteren bis zu 28 % des gesamten Körper-Ca als schnell verfügbares Depot gespeichert werden. Das ermöglicht eine

Kompensation der Zeitunterschiede zwischen Ca-Resorption und Eischalenbildung (STURKIE & MUELLER, 1976; MÄNNER & BRONSCH, 1987; SALOMON, 1993). Inwieweit der teilweise bis zu den *Condylus femoralis* pneumatisierte Femur des Straußes diese Aufgabe erfüllen kann, ist noch ungeklärt. Der Humerus ist beim Strauß im Gegensatz zum Hausgeflügel nicht pneumatisiert (BEZUIDENHOUT et al., 1998). Der Humerus beim Strauß sollte als markhaltiger Röhrenknochen in der Lage sein, medullären Knochen zu bilden, ebenso wie der Tibiotarsus, andere lange Knochen, die Beckengürtelknochen und die Rippen.

Der hohe Bedarf an Ca während der Eischalenbildung kann nur durch kontinuierliche Auffüllung des Plasma-Ca durch Resorption aus dem Darm und Mobilisierung aus den Knochen gedeckt werden. Das Mengenverhältnis des aus diesen beiden Quellen bereitgestellten Kalziums hängt vor allem vom Anteil an Ca im Futter ab. Mit sinkendem Ca-Anteil im Futter steigt der aus dem Skelett mobilisierte Ca-Anteil. Da bei der Henne ein Großteil der Schale in der Nacht gebildet wird, wenn die Ca-Menge im Darm absinkt, dürfte die Ca-Mobilisierung aus dem Skelett für die Eischalenbildung - besonders in den frühen Morgenstunden - von wichtiger Bedeutung sein (STURKIE & MUELLER, 1976). Ca-Mangel im Futter, Malresorption aus dem Darm oder eine Störung der Ca-Mobilisierung aus den Knochen kann bei legenden Vögeln zu einer "Milchfieber-artigen" Paralyse besonders des Eileiters und damit zur Eiretention (Legenot) führen. Diese beruht auf einer Schwäche der Oviduktmuskulatur, die durch Ca-Mangel bedingt ist, aber auch durch Se- und Vitamin E-Mangel ausgelöst werden kann (JOYNER, 1994).

Bei der Straußenhenne mit einem 48-stündigen Legerhythmus kann mit deutlichen Unterschieden bezüglich des Ca-Metabolismus im Vergleich zum in 24-stündigen Intervallen legenden Huhn gerechnet werden.

Die Ca- und Phosphat-Speicherung steigt bei Hühnern etwa 10 Tage vor Legebeginn deutlich an, während desselben Zeitraums steigt das Skelettgewicht um circa 20 % an, was darauf hindeutet, daß der Großteil des zusätzlich

aufgenommenen Ca^{2+} und PO_4^{3-} in die Knochen eingebaut wird (STURKIE & MUELLER, 1976). Allerdings wird das bei legenden Hennen etwa 10 Tage vor Legebeginn feststellbare Ansteigen der Plasma-Ca-Spiegel auf die Dotter- und nicht auf die Eischalenbildung zurückgeführt. Dies liegt an Phospholipoproteinen, die große Mengen an Kalzium binden. Der Großteil dieser Phospholipoproteine wird letztendlich im Dotter deponiert (STURKIE & MUELLER, 1976).

Sich abwechselnde histologische Knochenauf- und -abbauprozesse können während des Eibildungszyklus der Henne beobachtet werden, selbst bei relativ hoher oraler Ca-Aufnahme. Bei Tauben ist dies deutlicher an einem Anstieg der Osteoklastenzahl während der Eischalenbildung und einer höheren Osteoblastenzahl im Zeitraum dazwischen zu sehen (STURKIE & MUELLER, 1976).

Abgesehen von geringen Plasmaschwankungen, die durch Ionenaustausch zwischen der hydratisierten Kristalloberfläche des Knochens und dem Plasma ausgeglichen werden, wird der Blut-Ca-Spiegel, die Ca-Aufnahme und Ca-Ausscheidung und der Gesamtkörpergehalt an Ca durch zwei Hormone und einen Vitamin D-Metaboliten gesteuert:

- Das in der Nebenschilddrüse gebildete Parathormon wird nach Absenkung des Plasma-Ca-Spiegels oder Erhöhung des Phosphatspiegels abgegeben. Es macht die Darmschranke durchlässiger für Ca und P und mobilisiert Ca und P aus den rasch mobilisierbaren Teilen des Skeletts.
- Das antagonistisch zu Parathormon wirkende Calcitonin wird in der Schilddrüse gebildet und nach Erhöhung des Plasma-Ca-Spiegels abgegeben. Seine Funktion ist die Hemmung der Osteoklastentätigkeit im Skelett und die Stimulation der Osteoblasten und somit die Förderung einer verstärkten Kalziumphosphat-Deponierung im Skelett.
- Zusätzlich ist einer der wichtigsten Stoffe für die Regulierung des Ca-Haushaltes das Vitamin D bzw. seine Metaboliten Vitamin D_2 und D_3 . Das pflanzliche Vitamin D_2 (Ergocalciferol) hat eine bei Säugetieren dem tierischen Vitamin D_3 (Cholecalciferol) nahekommende biologische Wirksamkeit (Vitamin D_2 ca. 20 % weniger als Vitamin D_3).

- Bei Geflügel hingegen hat Vitamin D₂ nur 1-3 % der Vitamin D₃-Wirksamkeit (MÄNNER & BRONSCH, 1987). Deshalb wird hier der Schwerpunkt auf das Vitamin D₃ gelegt. (Unter Geflügel versteht man normalerweise die Hausgeflügel-Spezies Huhn, Pute, Ente, Gans und Taube. Der Strauß wird meist zur Kategorie Wild oder Wildgeflügel gezählt).

Das im Tierkörper produzierte Cholecalciferol wird zur Leber transportiert und dort zu 25-Hydroxycholecalciferol (25-OH-D₃) hydroxiliert. In der Niere erfolgt eine weitere Hydroxilierung zu 1,25-Dihydroxycholecalciferol (1,25-(OH)₂-D₃), dem biologisch aktiven Vitamin D₃, und zu einem geringeren Anteil zu 24,25-Dihydroxycholecalciferol (24,25-(OH)₂-D₃). Vitamin D₃ fördert die Bildung des schon erwähnten, in der Darmmukosa lokalisierten, Ca-bindenden Proteins, sowie die Ca-Freisetzung aus dem Skelett. Außerdem verbessert es die Reabsorption von Ca in den distalen Nierentubuli. Die Bildung von 1,25-Dihydroxycholecalciferol wird durch das bei niedrigem Blutkalziumspiegel ausgeschüttete Parathormon gesteuert (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die Ausscheidung von Kalzium erfolgt hauptsächlich über den Kot, aber auch den Harn. Bei milchgebenden Tieren und legenden Hennen werden darüber hinaus erhebliche Mengen an Ca über die Milch und über die Eischale und den Eiinhalt ausgeschieden, wobei der Ca-Gehalt der Eier von Fütterung, Rasse und Haltung abhängt (MÄNNER & BRONSCH, 1987; STADELMAN & PRATT, 1989). Offensichtlich ist das im Kot gefundene Ca teilweise vom Körper ausgeschiedenes Ca und teilweise im Magen-Darm-Trakt nicht resorbiertes Ca.

2.1.3 PHOSPHOR (P)

Der Gehalt an Phosphor (P) im erwachsenen Wirbeltier-Körper beträgt 0,5-1 %, wovon 75-85 % im Skelett deponiert sind. Der Rest verteilt sich auf Muskulatur, Gehirn, Leber und andere Organe (MÄNNER & BRONSCH, 1987). P wird - meist in der Form von Phosphat (PO₄³⁻) - vor allem im Dünndarm, aber auch in anderen Magen-Darm-Abschnitten, aktiv von der Mukosa zur Serosa transportiert.

Vitamin D₃ wirkt hierbei fördernd, wenn Ca²⁺ vorhanden ist. Auch beim P nimmt der Resorptionskoeffizient mit zunehmendem Alter ab, allerdings nicht in dem Maße wie beim Ca.

Der Gesamt-P-Gehalt im Plasma wird in mehrere P-Fractionen aufgeteilt, wovon die organischen Lipoid- und Ester-Phosphorverbindungen mehr als die Hälfte betragen können. Eine bessere Aussage über den P-Stoffwechsel in Plasma und Körper läßt sich allerdings anhand der Konzentration des anorganischen Phosphats im Plasma machen (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Auch P und Phosphat erfüllen sehr viele Stoffwechselfunktionen:

Sie sind Bestandteil der Ribonukleinsäure (RNS) und der Desoxyribonukleinsäure (DNS), sind Energiespeicher und -donator in Form von Adenosindiphosphat (ADP), Adenosintriphosphat (ATP) und Phosphorylierungen. Außerdem sind sie Bestandteil von Eiweißen und Enzymen, wie Nikotinamid-Adenin-Dinukleotid (NAD) und Nikotinamid-Adenin-Dinukleotid-Phosphat (NADP). Phosphate sind wichtige Puffersubstanzen in den Zellen und im Blut, und Phosphat ist einer der Hauptbestandteile von Knochen und Zähnen (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Parathormon und Calcitonin sind, wie beim Ca schon gesagt, die Hauptregulatoren des P- und Ca-Haushaltes:

- Parathormon wird bei Erhöhung des Plasma-Phosphatspiegels abgegeben. Zu den schon beim Ca beschriebenen Parathormonwirkungen (Durchlässigkeit der Darmschranke für P, Mobilisation von P aus dem Skelett) kommt die verstärkte Phosphatausscheidung über die Nieren durch aktive Sekretion in den distalen Tubuli und Hemmung der Rückresorption in den proximalen Tubuli.
- Calcitonin, das die Osteoklastentätigkeit hemmt und durch Osteoblastenstimulation eine vermehrte Calciumphosphatdeponierung veranlaßt, erhöht ebenfalls die PO₄³⁻-Ausscheidung durch Hemmung der tubulären Rückresorption in der Niere.
- Niedrige Phosphatspiegel in der Niere stimulieren die Hydroxylierungsreaktion von 25-(OH)-D₃ zu 1,25-(OH)₂-D₃ in derselben (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die P-Ausscheidung erfolgt bei Herbivoren größtenteils über den Kot, bei Omnivoren teilweise auch über den Harn. Es bestehen tierartliche Unterschiede, sowie eine Abhängigkeit von der Versorgung mit Ca und P. Der P-Gehalt von Eiern schwankt in Abhängigkeit von Fütterung, Rasse und Haltungsbedingungen (MÄNNER & BRONSCH, 1987; STADELMAN & PRATT, 1989).

2.1.4 MAGNESIUM (Mg)

Der Gesamtgehalt an Magnesium (Mg) im Körper erwachsener Wirbeltiere beträgt 0,03-0,05 %. Etwa 60 % davon sind im Skelett, 40 % in den Weichgewebezellen und 1 % in der Extrazellulärflüssigkeit enthalten (MÄNNER & BRONSCH, 1987). Die Mg-Resorption erfolgt bei Monogastern hauptsächlich aus dem Dün- und Dickdarm und bei Wiederkäuern hauptsächlich aus den Vormägen. Zu den Vögeln waren hierzu keine Angaben zu finden. Wie Ca und P wird auch Mg aktiv durch die Mukosa transportiert und der Resorptionskoeffizient sinkt mit zunehmendem Alter. Die Mg-Resorption kann durch gleichzeitige Aufnahme von hohen Ca- und P-Mengen reduziert werden, da Ca und Mg um die gleichen Resorptionsstellen im Dünndarm konkurrieren können und P relativ unlösliche Salze mit Mg formen kann (MCDOWELL, 1992).

Im Blutplasma liegt Mg zu 65-75 % ionisiert vor, der Rest ist an Proteine gebunden. Intrazellulär liegen nur circa 10 % in ionisierter Form vor (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die wichtigste Stoffwechselfunktion des Mg ist in der Beteiligung am Phosphattransfer zu sehen. Mg aktiviert die Enzyme, die den Phosphattransfer von ATP auf einen Akzeptor auslösen oder die den PO_4^{3-} -Transport von phosphorylierten Verbindungen auf ADP katalysieren. Außerdem werden ca. 300 weitere Enzyme bzw. Enzymsysteme durch Mg aktiviert. Dies sind vor allem Enzyme des Kohlehydrat-, Fett-, Protein- und Nukleinsäurestoffwechsels. Die Aktivierung ist abhängig von der Mg-Konzentration, welche bei etwa 1 mmol/l liegt (MÄNNER & BRONSCH, 1987). Auch die neuromuskuläre Erregungsübertragung in

den motorischen Endplatten ist Mg-abhängig. Das Mg-Ion wirkt durch die Aktivierung der Cholinesterase regulierend auf die Freisetzung des Acetylcholins und auf die Ansprechbarkeit der motorischen Endplatte auf Acetylcholin (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die Steuerung des Mg-Stoffwechsels ist vermutlich durch die mit der Nahrung aufgenommene Menge, die Resorption und die Ausscheidung bestimmt. Hierfür spricht, daß bei mangelhafter Aufnahme oder Resorption der Plasma-Mg-Spiegel sehr schnell abfallen kann. Direkte hormonelle Einflüsse auf den Mg-Stoffwechsel wurden bisher noch nicht nachgewiesen (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die Ausscheidung von Mg erfolgt vornehmlich über den Harn, aber auch über Kot, Milch und Ei. Im Ei hängt der Mg-Gehalt von Fütterung, Rasse und Haltungsbedingungen ab. Niedrige Mg-Blutspiegel schränken die Mg-Exkretion über die Henley'sche Schleife der Nieren ein, hohe Spiegel erhöhen diese (MÄNNER & BRONSCH, 1987; STADELMAN & PRATT, 1989; McDOWELL, 1992).

2.1.5 ZINK (Zn)

Die Zink-Konzentration im Organismus der Wirbeltiere beträgt durchschnittlich 20-30 mg/kg Körpergewicht. Zink (Zn) ist vor allem an Proteine gebunden. Es wird besonders konzentriert in der Choroidea des Auges, in Haaren, Knochen, Pankreas, Sperma und Prostata gefunden (MÄNNER & BRONSCH, 1987). Die Resorption findet bei Monogastern vor allem im Dünndarm statt, bei Wiederkäuern im Labmagen. Zn kann auch über Haut und Vagina aufgenommen werden. Die in pflanzlichen Futtermitteln wie Soja- und Rapsextraktionsschrot enthaltene Phytinsäure senkt die Zn-Verfügbarkeit drastisch, da Zn darin entweder als schwerlösliches Zn-Ca-Phytat vorliegt oder sich ein solcher Komplex mit freier Phytinsäure im Magen-Darm-Trakt bildet (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Im Blutplasma liegt Zn fest gebunden an eine Globulinfraction oder locker an Albumin gekoppelt vor. Erythrozyten haben einen sehr hohen Zn-Gehalt (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die Carboxypeptidase B ist an der Umwandlung von Proinsulin in Insulin beteiligt. Durch Zn wird das neu gebildete Insulin in kristalliner Form gebunden und gespeichert. Das hierfür benötigte Zn wird von den β -Zellen der Langerhans'schen Inseln bereitgestellt. Auch in Leber, Niere und Nebennierenrinde findet ein hoher Zn-Austausch statt, vor allem über Metalloenzyme. Zu den Zn-abhängigen Enzymen gehören die Carboanhydratase, die Carbopeptidase B, sowie Glutaminsäure-, Alkohol- und Lactat-Dehydrogenase. Zn ist auch in der δ -Aminolävulinsäure-Dehydratase (ALA-D) vorhanden. Bei einigen anderen Enzymen können sowohl Zn, als auch andere zweiwertige Kationen die Aktivierung durchführen. Die Hauptfunktion, die DNA- und RNA-Synthese, sowie die alkalische Phosphatase sind ebenfalls Zn-abhängig. Auch zur Erhaltung des Keimepithels im Hoden und für die Spermiogenese ist Zn notwendig (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die Ausscheidung erfolgt vor allem über den Kot, aber auch Foetus, Milch und Ei sind Zn-haltig. Die Exkretionsrate kann bis zu einem bestimmten Grad der Zn-Aufnahme angepaßt werden, wobei der Zn-Gehalt im Ei relativ konstant bleibt. Wird der Wert von 100-150 mg Zn/kg im Futter überschritten, können die Regulationsmechanismen dies nicht mehr kompensieren, und es kommt zu einem Zn-Anstieg in Organen und Geweben (MÄNNER & BRONSCH, 1987; STADELMAN & PRATT, 1989).

2.1.6 EISEN (Fe)

Das im Wirbeltier-Körper am höchsten konzentrierte Spurenelement ist Eisen (Fe) mit durchschnittlich 70 mg/kg Körpergewicht. Das Fe-Ion ist sehr reaktiv und liegt daher meist in gebundener Form vor. Im Hämoglobin finden sich etwa 70 %, im Myoglobin 2-20 % des Körpereisens. In den Fe-Depots (Leber, Knochen und Darmmukosazellen) sind 20-22 % und in den Cytochromen 0,1-0,4 % des Körper-Fe enthalten (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die Fe-Resorption findet vor allem im Duodenum statt. Hierbei kann nur zweiwertiges Fe^{2+} direkt aufgenommen werden. Dreiwertiges Fe^{3+} muß in der Regel vorher zu Fe^{2+} reduziert werden. Die Magenmukosa bildet Gastroferrin, das 280 Fe^{3+} -Ionen binden kann und damit die Fe-Resorption im Dünndarm unterstützt. Mn, Co, Ni, Cr und Zn können aber auf gleichem Wege aufgenommen werden und zu einer indirekten bzw. kompetitiven Hemmung der Fe-Resorption beitragen. Wie bei den anderen Elementen sinkt auch beim Fe die Resorptionsrate mit zunehmendem Alter (MÄNNER & BRONSCH, 1987). Anorganisches Eisen wird als Fumarat oder Citrat, sowie bei Anwesenheit von Ascorbinat besser resorbiert, ein höherer Gehalt an Phosphat, Phytat oder starken Chelatbildnern im Futter senkt die Resorption. Nach Aufnahme durch die Mukosazelle wird Fe^{2+} als Chelatkomplex gebunden. So kann es durch energieabhängigen Transport ans Blut abgegeben werden. Nicht benötigtes Eisen wird in der Zelle zu Fe^{3+} oxidiert und an Apoferritin gebunden. Dieser Speicher-Komplex wird als Ferritin bezeichnet. Alle Ferritin enthaltenden Zellen stellen zusammen den größten Fe-Speicher des Körpers dar. Bei Rind/Schaf/Pferd entfallen ca. 66 % des Speichereisens der Leber auf Ferritin, für Vögel konnten hierzu keine Angaben gefunden werden. Ein weiteres Speicherprotein ist das Hämosiderin, wobei nicht ganz geklärt ist, inwieweit Fe aus diesem wieder mobilisierbar ist (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Im Blutplasma übernimmt Transferrin zwei Fe-Ionen nach deren Oxidation zu Fe^{2+} durch Coeruloplasmin. Die Menge an Transferrin, das ständig dafür zur Verfügung steht, wird als latente Eisenbindungskapazität und die Gesamtmenge an Transferrin als Gesamteisenbindungskapazität TIBC (Total Iron Binding Capacity) bezeichnet. Das meiste Plasma-Fe wird vom Knochenmark für die Hämoglobinsynthese aufgenommen, wobei die basophilen Erythroblasten am meisten Fe benötigen. Auch Myoglobin benötigt Fe (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Es wird vermutet, daß die enterale Fe-Aufnahme durch die Darmzellen selbst gesteuert wird, dies ist aber noch nicht bewiesen. Auch über die Regulation des Fe-Stoffwechsels ist wenig bekannt (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Fe ist ein wichtiger Faktor der Redoxprozesse des Körpers, es ist Bestandteil der Atmungsfermente (Cytochrom a, b, c) und Katalysator bei Elektronenübergängen. Weitere Fe-abhängige Enzyme sind Hämenzyme, NAD-Cytochrom c-Reduktase, Fettsäureacyl- und Succinatdehydrogenase und Xanthinoxidase (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Fe wird an Fetus, Milch und Ei abgegeben. Der Fe-Gehalt im Ei ist abhängig von Fütterung, Rasse und Haltung. Die Exkretion erfolgt in geringen Mengen über den Kot, sowie über Harn und Schweiß. Allerdings werden 90 % des Fe im Stoffwechsel wiederverwendet (MÄNNER & BRONSCH, 1987; STADELMAN & PRATT, 1989).

2.1.7 KUPFER (Cu)

Die Gesamtkonzentration an Kupfer (Cu) liegt bei 1-3 mg/kg Körpergewicht beim Wirbeltier. Hierbei sind Haut und Haare und der Leberspeicher, sowie das Darmtraktepithel am Cu-reichsten. Die Resorption findet im Dünndarm und teilweise im Dickdarm statt. In der Leber wird Cu ohne Energieaufwand eingebaut, es wird an α_2 -Globulin gebunden und wird dann als Coeruloplasmin teils ans Blut abgegeben, teils im Cytoplasma der Leberzellen gespeichert. Cu kann auch als Heptakuprein im Cytoplasma der Leberzellen gespeichert werden. Sowohl Coeruloplasmin als auch Heptakuprein können bei Bedarf wieder von den Leberzellen abgegeben werden. Die Leber ist das Hauptspeicherorgan für Cu und kann Cu dem venösen Blut vollständig entziehen. Ihr Cu-Gehalt ist von Alter und Tierart abhängig (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Zusätzlich wird Cu an Erythrokuprein in den Erythrozyten und an Cerebrokuprein im Gehirn gebunden. Außer an Coeruloplasmin ist ein geringer Anteil des Cu im Serum locker an Serumalbumine gebunden (MÄNNER & BRONSCH, 1987). Coeruloplasmin bindet 8 Cu^{2+} -Ionen pro Molekül. Bei optimaler Cu-Konzentration im Körper erreicht die Coeruloplasmin-Aktivität ein sogenanntes Sättigungsniveau, bei dem ihre Aktivität durch eine höhere Cu-Konzentration im Körper nicht weiter

steigerbar ist. Auch der Gesamtgehalt an Coeruloplasmin ist weder durch alimentäres Cu, noch durch Cu-Infusionen beeinflussbar. Nur bei Infektionen und in der Gravidität wird die Coeruloplasminfraktion im Blut erhöht; über die Legeperiode wurden hierzu keine Angaben gefunden. Bei marginaler Versorgung mit Cu ist die Coeruloplasmin-Aktivität von der Cu-Konzentration im Serum abhängig. Das restliche, an Serumeiweiße gebundene Cu reagiert auf alimentäre/parenterale Cu-Applikation. Laut MÄNNER und BRONSCH (1987) sind in der Coeruloplasminfraktion etwa 75 % des Plasma-Cu's bei Rind und Schaf und 55 % des Plasma-Cu's beim Schwein enthalten. Vogelwerte hierzu existieren anscheinend nicht.

Die Hauptfunktion von Cu im Stoffwechsel ist einerseits die Aktivierung von Enzymen, andererseits ist Cu auch ein Enzymbaustein, wie beim Cytochrom a/a₃-Komplex. Zusätzlich zu den Cu-spezifischen Enzymen kann Cu auch einige andere Enzyme aktivieren, die normalerweise von anderen, zweiwertigen Ionen aktiviert werden. Cu-spezifische Enzyme sind Tyrosinase, Urat-, Ascorbinsäure- und Lysiloxidase, Superoxiddismutase und Butyryldehydrogenase. Beim Schwein, eventuell auch bei anderen Spezies, ist Cu an der Hämatopoese beteiligt (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Cu ist für die Resorption und Retention von Fe, sowie für die Globin-Bildung bedeutend. Ohne ausreichende Gewebekonzentrationen an Cu laufen diese Vorgänge nicht optimal ab. Auch die Erythrozytenreifung und deren Lebensdauer sind Cu-abhängig. Die Oxidation von Fe²⁺ zu Fe³⁺ wird durch Cu-Mangel beeinflusst, infolgedessen verliert das Fe seine Bindungsmöglichkeit an das Transferrin und kann weder durch die Darmwand noch von den Fe-Depots zu den Häm-Syntheseorten transportiert werden. Diese verminderte Fe-Mobilisierung ist aber erst zu erwarten, wenn die Coeruloplasmin-Aktivität auf 1-2 % ihres Normalniveaus abgefallen ist. Durch ungenügende Cytochromoxidase-Aktivität in den Mitochondrien aufgrund von Cu-Mangel ist auch die Häm-Synthese beeinträchtigt (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die für die Pigmentbildung verantwortlichen Polyphenoloxidasen sind ebenfalls Cu-haltige Enzyme, wodurch Cu an der Färbung schwarzer Haare, sowie bei Schafen an der Kräuselung der Wolle und der Wollertragshöhe beteiligt ist (MÄNNER & BRONSCH, 1987). AUSTIC und SCOTT (1991) erwähnen eine ungleiche Federpigmentierung bei bunten Geflügelrassen als Folge von Cu-Mangel.

Die Anwesenheit von Cu ist bei der Elastinbildung unerlässlich. Bei der Desmosinbildung wird von der Cu-abhängigen Aminooxidase eine oxidative Desaminierung durchgeführt. Bei Cu-Mangel unterbleibt diese, was eine Elastizitätsminderung der Gefäßwände zur Folge hat. Das kann zur Aortenruptur führen, einer bei Puten sowie Hühnern und Schweinen weit verbreiteten Erkrankung, zu deren Hauptursachen Cu-Mangel zählt (AUSTIC & SCOTT, 1991). Auch beim Strauß sind auf Cu-Mangel zurückgeführte Fälle von Aortenruptur beschrieben (VANHOOSER et al., 1994). Nach Cu-Depletion wurde eine ungenügende Bildung von Kollagen und eine Demyelinisierung im Rückenmark beobachtet. Hieraus kann auf eine Beteiligung des Cu bei inter- und intramolekularen Vernetzungsreaktionen des Kollagens und bei deren enzymatischer Synthese, sowie am Abbau der Glykoproteine und Ganglioside geschlossen werden (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Bei Schweinen konnte durch höhere Cu-Dosierungen im Futter ein verbessertes Wachstum erreicht werden. Das wird auf die stabilisierende, antiautolytische Wirkung von Cu auf Pepsin und Trypsin zurückgeführt, die die peptische Hydrolyse von Proteinen verbessert. Als weitere Cu-Effekte sind die Hemmung bakterieller Enzyme und eine Förderung der Infektionsabwehr bekannt (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Der Hauptausscheidungsweg des Cu ist der Darm, wenig wird über die Nieren exkretiert. Milch und Ei sind Cu-haltig. Resorption und Exkretion werden dem Körperstatus und der alimentären Zufuhr angeglichen (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

2.1.8 MANGAN (Mn)

Mangan (Mn) liegt in einer Gesamtkonzentration von etwa 0,5 mg/kg Körpergewicht im Wirbeltierkörper vor. Es wird in allen Geweben gefunden und ist in den Mitochondrien der Zellen angereichert. Bei adulten Tieren werden nur etwa 5-10 % des aufgenommenen Mn resorbiert. Hohe Ca- und P-Anteile im Futter reduzieren die Resorptionsrate weiter. Im Plasma wird Mn locker an das β_1 -Globulin gebunden, wandert bei Bedarf aber schnell in die Gewebe ab, weshalb die Mn-Plasma- bzw. Serumspiegel besonders bei adulten Tieren niedrig sind (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Mn aktiviert zahlreiche Enzyme und ist ein Baustein von einigen. So beeinflusst das Mn^{2+} -Ion die Aktivität der Arginase, Ergolase, Desoxyribonuklease, Adenosintriphosphatase, Carboxylase und einiger alkalischer Phosphatasen und Peptidasen, sowie auch das Polymerase- und das Galaktosyltransferase-System. Es agiert als ein Cofaktor der oxidativen Phosphorylierung und wirkt über das Malatenzym auf die Decarboxylierung der Oxalbernsteinsäure zur α -Ketoglutarsäure. Mn überführt Vitamin B₁ in Thiaminpyrophosphat, seine Coenzym-aktive Form. Auch bei anderen Vitaminen ist es in ähnlicher Form beteiligt, sowie möglicherweise an der Cholesterol- und Fettsynthese (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Durch seinen Einfluß auf die genannten Enzyme und Enzymsysteme ist Mn von großer Bedeutung für die Synthese von sauren Mucopolysacchariden, besonders die des galaktosaminhaltigen Typs. Die sauren Mucopolysaccharide sind wichtig für eine regulär ablaufende enchondrale Verknöcherung, weshalb dafür auch eine ausreichende Mn-Versorgung ausschlaggebend ist. Bei Geflügel und Schweinen sind Störungen der enchondralen Verknöcherung eine bedeutende Folge Mn-armer Ernährung. Beim Geflügel kommt es zusätzlich zu einer Reduktion der Eischalenstabilität. Bei Hauswiederkäuern, Schweinen und Ratten können vor allem bei weiblichen Tieren Störungen bei der Fortpflanzung vorkommen. Stillbrünstigkeit, Brunstunregelmäßigkeiten, embryonaler Fruchttod und Sterilität

werden gefunden. Diese Probleme gehen offenbar auf eine Verminderung der Schleimhautproduktion der Genitalmukosa zurück, die auf einer durch Mn-Mangel verursachten Reduktion der Mucopolysaccharidsynthese beruht (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die Ausscheidung erfolgt vor allem über den Kot. Urin, Milch, Ei und Pankreassekret spielen eine unbedeutende Rolle (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

2.1.9 SELEN (Se)

Der mittlere Selen-Gehalt (Se) im Wirbeltierkörper liegt bei etwa 0,1-0,3 mg/kg Körpergewicht. Die Resorptionsrate ist etwa 10-40 %. Bei Monogastern hängt die Resorptionsrate stark von der Löslichkeit der Se-Verbindung ab, die folgendermaßen abfällt: organische Se-Verbindungen, Selenate, Selenite, Selenide, elementares Se. Im Pansen der Wiederkäuer wird ein großer Teil des aufgenommenen Se in eine stabile, nicht resorbierbare Form überführt (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Im Plasma wird das resorbierte Se sowohl an Albumin, als auch an β - und γ -Globuline gebunden. Gespeichert wird Se hauptsächlich als Se-Cystein und Se-Methionin in Leber und Niere, weitere Speicherorgane sind Pankreas, Darm und Hoden (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die Hauptstoffwechselfunktion des Se liegt in seiner Rolle als Co-Faktor der selenabhängigen Glutathion-Peroxidase (Se-GSH-Px). Se-GSH-Px kommt überwiegend in der wässrigen Phase des Cytosols und des Plasmas vor und hat eine hohe Spezifität gegenüber dem Wasserstoffdonator Glutathion. Durch die Beteiligung am Abbau von Wasserstoffperoxid und organischen Hydroperoxiden, wie Lipidperoxiden und Prostaglandinhydroperoxiden, hat die Se-GSH-Px eine essentielle Bedeutung für die Membranstabilität in zellulären und subzellulären Membranen. Sie katalysiert die Umwandlung der beim Abbau ungesättigter Fettsäuren entstehenden, zellulären Lipidperoxide in unschädliche

Hydroxyfettsäuren. Hierdurch wird die Peroxidation der in zellulären und subzellulären Membranen enthaltenen, mehrfach ungesättigten Fettsäuren verhindert. Die antioxidative Wirkung von Se steht mit der von Vitamin E in engem Zusammenhang, denn beide wirken der Entstehung freier Radikale und damit der Bildung der schädlichen Lipidperoxide entgegen. Die Aktivität der Se-GSH-Px verhält sich bezüglich der Se-Zufuhr je nach Ort ihres Vorkommens unterschiedlich. So zeichnet sich nach Erreichen der Se-Bedarfsgrenze in Leber und Plasma ein Aktivitätsplateau ab, wohingegen in den Erythrozyten eine lineare Abhängigkeit zwischen Se-Gehalt und Se-GSH-Px-Aktivität festgestellt wurde (MÄNNER & BRONSCH, 1987; MACPHERSON, 1994).

Se fungiert auch als Katalysator bei mit der oxidativen Phosphorylierung verknüpften, elektronenübertragenden Enzymsystemen. Zusätzlich diskutiert man antiphlogistische, immunitätssteigernde und antikarzinogene Eigenschaften des Se (MÄNNER & BRONSCH, 1987; MACPHERSON, 1994; ROY et al., 1995).

Die Ausscheidung erfolgt über Niere, Atemluft und Ei in Abhängigkeit von der Aufnahme, und in geringerem Maße unabhängig von der Zufuhr über Galle/Kot und Haare (MÄNNER & BRONSCH, 1987; STADELMAN & PRATT, 1989).

2.1.10 CHROM (Cr)

Die Gesamtkonzentration von Chrom (Cr) im Körper der Wirbeltiere ist sehr gering. Seine höchsten Konzentrationen werden in den Nieren, sowie in Leber, Lunge, Herz und Skelett gefunden. Cr wird als dreiwertiges Ion (Cr^{3+}) resorbiert, dann an Transferrin gebunden und zu seinen Speichern weitertransportiert. Cr wird lose an Trypsin gebunden, ist aber ein wesentlicher Bestandteil davon, da die Trypsinaktivität nach der Abtrennung des Cr auf 5 % ihres Ausgangswertes sinkt (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Cr ist ein wichtiger Bestandteil des Glucosetoleranzfaktors, was bei Cr-Mangel eine schlechtere Glucosetoleranz und gleichzeitig eine Hyperglykämie und

Glucosurie zur Folge hat. Weiterhin vermuten MÄNNER und BRONSCH (1987), daß Cr ein essentieller Co-Faktor für die Reaktion des Insulins mit den Insulinrezeptoren der Zellmembranen ist. Außerdem lasse die starke Glykogenspeicherung Cr-versorgter Tiere einen Einfluß auf die Glucoseregulation vermuten, der sich auf das Verteilungsgleichgewicht zwischen Glucose und Glykogen erstreckt. Es konnte auch eine Beteiligung des Cr an der Fettsäure- und Cholesterinsynthese aufgezeigt werden.

Nach Cr-Zugabe über das Futter wurde eine signifikante Verbesserung des Knochenwachstums beobachtet. Dies ist vermutlich auf eine Beteiligung an den dem Knochenmatrixaufbau dienenden Kohlehydrat-, Mineralstoff- und Eiweißstoffwechselvorgängen zurückzuführen. Die detaillierte und komplette Bedeutung von Chrom für den Stoffwechsel konnte jedoch bisher - wie bei einigen anderen Spurenelementen - noch nicht vollständig geklärt werden (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die Ausscheidung von Cr findet hauptsächlich über die Nieren statt, über die die physiologische Cr-Regulierung abläuft. Ein Teil des Cr wird über Darm und Ei abgegeben (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

2.1.11 KOBALT (Co)

Der Wirbeltier-Organismus hat einen relativ geringen Kobaltgehalt (Co) von etwa 0,04 mg/kg Körpergewicht. Der Hauptspeicher ist die Leber, aber auch in Pankreas, Nebennieren, Thymus und Knochenmark wird Co abgelagert. Die Co-Konzentration in der Leber ist etwa zehnmal höher als die genannte Gesamtkörperkonzentration. Von der aufgenommenen Co-Menge werden nur etwa 3-5 % resorbiert (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Im Stoffwechsel ist Co am Aufbau der Cobalamine und des Thiamins beteiligt. Aufgrund der Tatsache, daß die Synthese von Vitamin B₁₂-Verbindungen nur von Bakterien, nicht aber von Tieren oder höheren Pflanzen durchgeführt werden

kann, ergibt sich eine unterschiedliche Abhängigkeit dreier Tiergruppen von der externen Kobalt- und Vitamin B₁₂-Zufuhr:

- Monogastrische Tiere ohne Verdauungskammern im Dickdarmbereich haben fast keine eigene Vitamin B₁₂-Synthese. Deshalb ist deren Co-Versorgung mit der essentiellen Versorgung mit Vitamin B₁₂ gleichzusetzen. Auch bei Monogastern besteht eine geringe Eigensynthese der Darmflora, für deren Co-Versorgung aber die aus dem intermediären Cobalaminabbau anfallende Co-Menge ausreicht (MÄNNER & BRONSCH, 1987). Bei ausreichend Vitamin B₁₂ im Futter sollten monogastrische Tiere kein zusätzliches Co benötigen (McDOWELL, 1992).

- Die Wiederkäuer sind von der Vitamin B₁₂-Aufnahme unabhängig, da ihre Pansenflora eine den Bedarf deckende Cobalaminsynthese durchführt. Hierfür ist eine ausreichende Versorgung mit Co notwendig (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

- Die dritte Gruppe sind Monogaster mit großen Verdauungskammern im Dickdarmbereich, wie Kaninchen, Hase, Pferd und der Strauß. Auch die Hausgeflügelarten sind dieser Gruppe zuzuordnen. Bei den drei Erstgenannten stellen besonders die Blinddärme bzw. der Blinddarm die Verdauungskammer(n) dar. In diesen Verdauungskammern ist eine dem Pansen ähnliche Flora angesiedelt, die in der Lage ist, Vitamin B₁₂ zu synthetisieren. Die Co-Verwertung dieser Bakterienflora ist aber deutlich effizienter als die der Wiederkäuer, wodurch der Co-Bedarf dieser Monogaster geringer ist (McDOWELL, 1992). Von Vögeln existieren dazu offenbar keine Angaben. Beim Strauß sind die beiden Blinddärme und das Colon die großen Verdauungskammern. Über die Vitamin B₁₂-Synthese und die Co-Verwertung in der Darmflora des Straußes ist bisher nichts bekannt, sie sollten aber mit den gerade genannten Spezies vergleichbar sein.

McDOWELL (1992) erwähnt, daß koprophagische Tiere und Geflügel, das auf Tiefstreu gehalten wird, eine sehr gute Vitamin B₁₂-Versorgung durch die vorher im Darm erfolgte bakterielle Synthese haben. Koprophagie kommt bei vielen Spezies vor, teilweise auch in Form der Aufnahme von Kot anderer Spezies. Auch bei Straußenküken ist Koprophagie bekannt (HUCHZERMEYER, 1998).

Die Co-Ausscheidung erfolgt hauptsächlich über den Kot, in geringerem Maße auch über Urin, Milch und Ei (McDOWELL, 1992).

2.1.12 NATRIUM (Na), KALIUM (K) und CHLOR (Cl)

Die drei Elektrolyte Natrium (Na), Kalium (K) und Chlorid (Cl) sollen wegen ihrer engen Zusammengehörigkeit im Elektrolytstoffwechsel zusammen besprochen werden. (Da sie als Ionen vorliegen und das Chlorid-Ion die ionisierte Form des Chloratoms darstellt, wird hier von Chlorid gesprochen). Sie haben beim Wirbeltier zusammen einen Anteil von 0,15-0,3 % am Körpergewicht. 90-95 % der aufgenommenen Menge wird vor allem im Dünndarm resorbiert. Das Na^+ -Kation wird entweder gleichzeitig mit dem anionischen Cl^- -Ion resorbiert oder im Austausch für das kationische K^+ . Na und Cl werden aktiv resorbiert und sind im gesamten extrazellulären Flüssigkeitsraum, aber auch in Skelett, Haut, Magen und Niere verteilt. K wird intrazellulär aufgenommen. Es ist besonders hoch konzentriert im Nervengewebe und in der Muskulatur (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die Plasma- bzw. Serumkonzentrationen liegen beim Geflügel durchschnittlich 10 % über den Obergrenzen für Säugetiere. Im Gegensatz zum Plasma/Serum sind die Konzentrationen an Na, K und Cl im Vollblut tierartlich unterschiedlich, was sich vor allem durch den unterschiedlichen Elektrolytgehalt der Erythrozyten und den unterschiedlichen Hämatokrit erklären läßt. Das Skelett stellt das Depotorgan für die Elektrolyte dar; weil seine Kapazität aber nur relativ gering ist, müssen sie regelmäßig aufgenommen werden (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die wichtigsten Stoffwechselfunktionen der Elektrolyte sind durch ihre Kat- bzw. Anioneneigenschaften geprägt:

Sie halten den osmotischen Druck in den Körperflüssigkeiten und den Zellen konstant und regulieren den Wasserhaushalt. Sie sind an der Regulierung des Säure- Basenhaushaltes beteiligt. Differenzen in den elektrischen Zellpotentialen werden von ihnen aufgebaut, wodurch sie bei der Erregungsübertragung innerhalb und zwischen den Nervenzellen und bei der Muskelerregung mitwirken. Sie

aktivieren bestimmte Enzyme. Chlorid ist an der Magensaftsekretion beteiligt (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Entsprechend ihrer Verteilung im Extra-/Intrazellulärraum bestimmen Na^+ und Cl^- den osmotischen Druck im Extrazellulärraum und K^+ (und PO_4^{3-}) im Intrazellulärraum. Ihre Austauschgeschwindigkeit ist sehr hoch und beruht größtenteils auf Diffusionsvorgängen und nicht auf aktiven Austauschprozessen. Außerdem existiert zwischen extra- und intrazellulärem Raum die sogenannte Natriumpumpe, ein Energie verbrauchender, aktiver Transport, bei dem Na^+ aus der Zelle gepumpt und K^+ aufgenommen wird. Zwischen Extra- und Intrazellulärraum herrscht Isotonie (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Na aktiviert die β -Galaktosidase und die α -Amylase, K aktiviert Enzyme der biologischen Oxidationsprozesse und der Glykolyse. In den Mitochondrien kann die oxidative Phosphorylierung nur stattfinden, wenn K aufgenommen werden kann. Cl^- ist bei der Magensaftsekretion als Gegenion zum kationischen H^+ -Ion nötig und wird dabei aktiv aus dem Blut in den Magensaft transportiert (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die Verteilung und Ausscheidung von Na und Cl wird über Aldosteron und Vasopressin gesteuert, die Na/Cl-Konzentration wird von Osmorezeptoren registriert. Aldosteron bewirkt eine verstärkte Rückresorption von Na und Cl in den proximalen Nierentubuli. Vasopressin (= Adiuretin) bewirkt eine erhöhte Rückresorption von Wasser aus den Sammelkanälchen der Nieren und verursacht Durst. Auch eine hohe K-Konzentration wird durch eine verstärkte K-Ausscheidung nach Aldosteronfreisetzung korrigiert (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die Ausscheidung von Na und Cl erfolgt spezie- und altersabhängig über Harn und Kot. Auch durch den Schweiß können beträchtliche Mengen an NaCl ausgeschieden werden. K wird fast nur durch den Harn ausgeschieden. Der Na-, K- und Cl-Gehalt der Eier variiert mit Fütterung, Rasse und Haltungsbedingungen (MÄNNER & BRONSCH, 1987; STADELMAN & PRATT, 1989).

Strauße besitzen Nasensalzdrüsen, über die erwachsene Tiere Salz (NaCl) bzw. Ionen (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Cl^-) extrarenal bei Dehydration ausscheiden können (SCHMIDT-NIELSEN et al., 1963). Bei Straußenküken wurde von GRAY et al. (1988) während Dehydration keine Aktivität dieser Drüsen beobachtet.

2.1.13 BLEI (Pb)

Die Aufnahme von Blei (Pb) erfolgt bei den Wirbeltieren oral, pulmonal und perkutan, und hängt von der Art seiner Bindung ab. Organische Bleiverbindungen werden aufgrund ihrer Fettlöslichkeit deutlich besser resorbiert als anorganische oder elementares Blei. Anorganisches Blei bildet schwerlösliche Sulfide und Phosphate. Durch Einlagerung dieser Phosphate in Knochen und Zähne reichert sich Blei bei den Säugetieren besonders stark in diesen Geweben an, vor allem bei einer längeren Pb-Exposition. Bei akuter Bleibelastung hingegen akkumuliert es in Leber und Niere. Ähnlich verhält es sich auch beim Geflügel, wobei sich Blei hier stark im Gefieder und in den Knochen ablagert. Gastroenteral wird Pb vor allem im Duodenum resorbiert. Pb wird im Blut an Hämoglobin gebunden oder als Pb^{2+} -Ion im Plasma zur Leber transportiert (GERBIG, 1992; GERBIG 1996). Etwa 60 % des resorbierten Pb werden im Knochen, 25 % in der Leber und 4 bzw. 3 % in Niere bzw. Intestinum gespeichert (FRIMMER, 1986).

Der Blei-Stoffwechsel, die Pb-Resorption und die Freisetzung des Pb aus den Körpergeweben ähneln dem Kalzium-Stoffwechsel. Besondere Belastungen des Körpers, wie physischer Streß und Infektionen, können eine Mobilisierung von körpereigenem Ca und gleichzeitig von Pb aus dem Skelett auslösen und damit eine akute Pb-Intoxikation verursachen. Pb-Ionen gelangen ebenso wie Ca-Ionen passiv in die Zellen, können aber nicht durch die Ca-spezifischen, aktiven Transportvorgänge aus den Zellen transportiert werden, wodurch es zu einer Anreicherung von Pb in den Zellen kommt. Pb^{2+} hat zu Calmodulin die gleiche Affinität wie Ca^{2+} . Calmodulin ist als Ca-Komplex an der Regulation wichtiger Enzyme des Zellstoffwechsels beteiligt. Pb^{2+} kann Ca^{2+} in den Calmodulin-abhängigen Reaktionen verdrängen. Direkte Interaktionen dieser beiden Ionen sind allerdings nicht bekannt (GERBIG, 1992; GERBIG 1996).

Bei Untersuchungen über den Einfluß von Pb auf die Aktivität verschiedener Enzyme bei Pb-depletierten Ratten ließ sich eine physiologische Wirkung bei den Transaminasen GOT und GPT und bei der alkalischen Phosphatase ableiten (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Pb wird über die Galle und den Darm ausgeschieden. Die Ausscheidung über Niere, Milch und Eidotter ist nur gering. Bei Vögeln ist die Harder'sche Drüse an der Pb-Elimination beteiligt (GERBIG, 1992; GERBIG 1996).

2.1.14 ARSEN (As)

Die Resorptionsrate von Arsen (As) ist sowohl in Form von organischen als auch anorganischen Verbindungen sehr hoch. Organische As-Verbindungen haben aber eine hohe Ausscheidungsrate, während es bei anorganischen As-Verbindungen zu einer Kumulation im Körper kommt (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Orale Zugabe von aliphatischen As-Verbindungen im Futter führte zu Wachstumsverbesserungen von bis zu 30 % und einem erhöhten Blut-Hämoglobingehalt bei Ziegen, Zwergschweinen, Hühnerküken und Ratten (MÄNNER & BRONSCH, 1987). Die genaue physiologische Rolle von Arsen im Stoffwechsel ist aber noch nicht bekannt.

2.1.15 CADMIUM (Cd)

Der Gehalt an Cadmium (Cd) ist im Körper von Neugeborenen sehr gering und steigt im Laufe des Lebens an, wobei bei Jungtieren die Cd-Resorption etwa zehnmal höher als bei Erwachsenen ist. Bei letzteren werden nur noch einige Prozent des oral aufgenommenen Cadmiums im Magen-Darmtrakt resorbiert, der Rest wird direkt über den Kot wieder ausgeschieden. Neben der hauptsächlich oralen Aufnahme existiert auch eine pulmonale. Im Körper wird etwa die Hälfte des resorbierten Cd in Leber und Nieren gespeichert, wobei die Konzentration in

den Nieren deutlich höher ist als in der Leber. Weitere Cd-akkumulierende Organe sind Hoden, Lunge, Pankreas und Milz, deren Cd-Konzentrationen aber viel niedriger sind. Die Cd-Konzentrationen in Leber und Nieren reflektieren die langfristige Cd-Aufnahme mit der Nahrung. Blutwerte sollen eine in jüngerer Zeit stattgefundene Cd-Exposition widerspiegeln (KOSTIAL, 1986).

Nach der Resorption kommt Cd über das Blut in die Leber und von da wiederum über das Blut in die Nieren. In Leber und Nieren wird Cd in Metallothionein eingebaut. Metallothionein wirkt entgiftend durch die Bindung toxischer Metalle, soll aber auch an der Regulation und am Metabolismus von essentiellen Metallen beteiligt sein. Die Bindung von Cd durch Metallothionein ist vermutlich für seine lange biologische Halbwertszeit verantwortlich. Cd könnte ein essentielles Spurenelement sein, dies ist aber noch nicht bewiesen. Cd ist - abhängig von der Dosis - für jedes System im tierischen Körper toxisch (KOSTIAL, 1986).

Die Cd-Ausscheidung erfolgt zum Großteil über den Urin, zum Teil auch über die Galle. Das im Kot gefundene Cd stammt bei Erwachsenen zum weitaus größten Teil aus dem Magen-Darmtrakt und wird gar nicht erst resorbiert (KOSTIAL, 1986).

2.1.16 SILIZIUM (Si)

Silizium (Si) liegt in sehr unterschiedlichen Konzentrationen in den Körpergeweben vor. Seine Konzentration ist in den verschiedenen Bindegewebsstrukturen von Haut, Knorpel, Knochen, Glaskörper und Gefäßwänden um das 100-250fache höher als im Blut oder in den parenchymalen Organen. Si liegt im Körper nicht als freie oder polymere Kieselsäure vor, wie das in Pflanzen der Fall ist, sondern als organisch gebundenes Derivat (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die Hauptfunktion des Si ist seine Rolle als integraler Bestandteil der Mucopolysaccharide, wodurch es als Vernetzungs- und Stabilisierungsmittel im Bindegewebe eine wesentliche Rolle spielt. Si kann durch -C-O-Si-O-C-Brücken wesentlich zur Tertiärstruktur und damit zur intra- und intermolekularen Stabilität

der Hyaluronidase, des Chondroitinsulfats, sowie anderer Glucoseaminoglykane und Polyuronide beitragen. Auch für die Knochen-Kalzifizierung ist es essentiell. Si ist daher für die physikalischen Eigenschaften des Stützapparates sehr wichtig. Im alternden Organismus ist die Si-Konzentration in Haut und Gefäßwänden rückläufig (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

2.1.17 FLUOR (F)

Fluor (F) wird hauptsächlich enteral, aber auch pulmonal und perkutan resorbiert. Die Resorptionsrate hängt von der Verfügbarkeit der Ausgangsverbindungen ab, außerdem kann die Bildung unlöslicher Komplexe mit Al, Ca, Fe, Mg und anderen Elementen die Resorptionsrate von F beeinflussen. Durch die lange Verweildauer in den Vormägen ist bei Wiederkäuern die F-Resorptionsrate höher. F wird vor allem in Skelett, Zähnen, Schilddrüse und Nieren gespeichert. Im Blut liegt es als niedermolekulare organische Verbindung vor (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Fluor hat einen positiven Einfluß auf die Lebendmassezunahme, das Längenwachstum und die Gesamtentwicklung der Tiere, was durch Depletions- und Repletionsstudien herausgefunden wurde. In der Körperphysiologie und im Körperstoffwechsel hat F einige wichtige Funktionen. Es ist mitverantwortlich für die Stabilisierung des Knochengerüsts und ist ein wichtiger Bestandteil der Kariesprophylaxe. F spielt bei der Aktivierung der Adenylatzyklase und der Zitrullin-Synthese in der Leber eine Rolle. Diese Effekte liegen schon bei F-Gehalten im Futter vor, die deutlich unter den üblichen Konzentrationen liegen (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

Die Ausscheidung findet vor allem über die Nieren statt. Über die Exkretionsrate der Nieren zusammen mit der selektiven Ablagerung von F in Knochen und Zähnen kann der F-Spiegel in Blut und Organen innerhalb bestimmter Grenzen gehalten werden (MÄNNER & BRONSCH, 1987).

2.1.18 ALUMINIUM (Al)

Die Konzentrationen von Aluminium (Al) in den Körpergeweben sind generell relativ niedrig und bleiben, mit Ausnahme der Konzentrationen im Gehirn und in der Lunge, auch mit zunehmendem Alter konstant. In Gehirn und Lunge steigt die Konzentration im Gewebe mit zunehmendem Alter an, im Gehirn aber in deutlich geringerem Maße als in der Lunge. Al wird fast nur über den Gastrointestinaltrakt resorbiert, inhaliertes Al wird vermutlich im Lungengewebe abgelagert und gelangt von da kaum ins Blut. Ein saurer pH in Magen und Duodenum könnte die Resorption erhöhen, da Al-Verbindungen in einem sauren Medium besser löslich sind. Außerdem wird vermutet, daß Parathormon und Vitamin D die Al-Resorption erhöhen (ALFREY, 1986).

Al akkumuliert in regenerierendem Knochen, stimuliert bestimmte, mit dem Succinat-Metabolismus zusammenhängende Enzymsysteme und soll essentiell für die Fertilität bei weiblichen Ratten sein (McDOWELL, 1992). Die Hauptausscheidung von Al erfolgt über die Nieren, nur ein verschwindend geringer Anteil wird über die Galle ausgeschieden (ALFREY, 1986).

2.2 Mengen- und Spurenelementwerte beim gesunden Strauß und vergleichend bei anderen Ratiten, Geflügel und Haussäugetieren

2.2.1 Generelle Informationen zu Einheiten und zu Konzentrationen in Geweben und Körperflüssigkeiten, zu den betrachteten Spezies, zur Literaturübersicht und zu den Wertetabellen

ANMERKUNGEN ZU DEN EINHEITEN, GEWEBEN UND SPEZIES:

Soweit möglich wurden alle aufgeführten Mineralstoffgehalte in den verschiedenen Körpergeweben oder -flüssigkeiten mit Hilfe der in Anhang 9.1 wiedergegebenen

Umrechnungsfaktoren in eine vergleichbare Einheit pro Gewebe umgerechnet. Trotzdem blieben beim Serum die drei Einheiten mmol/l, mg/dl und mg/kg nebeneinander stehen. Die Einheit mmol/l wird generell bei Elektrolyten bevorzugt, während mg/dl für die restlichen Elemente verwendet wird. Die Angabe mg/kg mußte - wenn angegeben - so stehenbleiben, da ohne die Flüssigkeitsdichte keine Umrechnung von Masse/Volumen in Masse/Masse möglich ist. Außerdem wäre bei einer Dichte von 1,0 (entspr. H₂O) der Faktor 10 zu berücksichtigen: 1 mg/dl wäre in diesem Fall 10 mg/kg gleichzusetzen.

Serum- und Plasmawerte wurden in der Literaturübersicht bei den Serumwerten gleichwertig aufgelistet. Serum- und Plasmawerte können generell als vergleichbar angesehen werden, weil der einzige Unterschied zwischen Serum und Plasma das in letzterem enthaltene Fibrin ist. Im Serum ist es nicht enthalten, da es ein wesentlicher Faktor bei der Blutgerinnung ist und damit zusammen mit den Blutzellen das Blutkoagel bildet und vom Serum getrennt wird. Im Fibrin sind - wenn überhaupt - nur verschwindend geringe Mengen an Mineralien oder Spurenelementen enthalten, deren sowieso schon geringe Konzentration durch den geringen Fibrinanteil im Vergleich zur Plasmamenge noch kleiner wird. Aus diesem Grund können die äußerst geringen Mengen von eventuell im Fibrin vorhandenen Makro- oder Mikroelementen vernachlässigt werden.

Die beim Serum zum Teil aufgeführten Vollblutwerte von MALAN (1930) und DE VILLIERS (1938) haben nur historische Bedeutung, da ein Vergleich zwischen Vollblut- und Serumwerten ohne Kenntnis des jeweiligen Hämatokrits und der Konzentrationen in den Blutzellen nicht möglich ist.

Leberwerte wurden in mg/kg Trockenmasse (TM) angegeben, soweit dies nicht möglich war in mg/kg wwt. Mit dem Begriff wwt = wet weight ist die Frisch- oder Feuchtmasse gemeint, auf eine Spezifizierung wurde verzichtet, da nicht jeder Autor klar ausdrückt, ob er frische, gefrorene oder in Formalin gelagerte Leberproben untersucht hat. Auf die Vergleichbarkeit der wwt-Werte von frischen, gefrorenen und Formalin-gelagerten Leberproben wird in 2.3.1. und 5.7

eingegangen. Der Begriff Frischmasse (FM) wird in späteren Kapiteln (2.3.1, 3., 4., 5.) für frische Leberproben verwendet, der Begriff Feuchtmasse (FeuM) für Formalin-gelagerte Leberproben.

Knochenwerte wurden in % Knochenasche (Mengelemente) oder mg/kg Knochenasche (Spurenelemente) angegeben. Waren diese Werte nicht vorhanden, wurden % oder mg/kg der fettfreien oder nicht fettfreien Knochen-Trockenmasse oder der Frischmasse angegeben. Auf die bei einigen Autoren nicht klar angegeben Einheiten wird entsprechend hingewiesen.

Vollblutwerte wurden in mg/dl oder in mg/kg Frischmasse angegeben. Ein fester Umrechnungsfaktor zwischen diesen beiden Einheiten kann aus den beim Serum genannten Gründen nicht etabliert werden.

Die von den verschiedenen Autoren zitierten Werte wurden sowohl im Text, als auch in den Tabellen bei bestimmten Elementen auf eine oder mehrere Stellen hinter dem Komma gerundet. Dies wurde der Übersichtlichkeit und der Uniformität halber gemacht. Die Zahl der Stellen, auf die hinter dem Komma gerundet wurde, hing von der aufgrund der Konzentrationen erforderlichen Genauigkeit und von den verwendeten Stellen der Autoren ab. So wurden Ca, Na, K und Cl auf eine Stelle hinter dem Komma gerundet; Si, F und Al waren von den Autoren schon so angegeben. Beim P wurden die mg/dl-, mg/kg- und %-Werte auf eine Stelle hinter dem Komma und die mmol/l-Werte auf zwei Stellen hinter dem Komma gerundet. Mg, Pb und Cd wurden auf zwei Stellen hinter dem Komma gerundet. Die Werte der restlichen Elemente wurden nicht gerundet, da die entsprechend niedrigen Konzentrationen dies nicht zuließen. Dadurch sind die Werte für Zn, Fe, Cu, Se und As bis auf drei, die Mn-Werte bis auf vier, die Co-Werte bis auf fünf und die Cr-Werte bis auf sechs Stellen hinter dem Komma angegeben.

Auf die wiederholte Angabe des einzelnen Elementes und des Gewebes bzw. der Körperflüssigkeit mit jeder Einheitsangabe (z.B. mg Ca/dl Serum, mg Fe/kg Leber-TM oder % Ca in der Knochenasche) wurde größtenteils aus Gründen der

Übersichtlichkeit verzichtet. Die Daten beziehen sich auf das Element und Gewebe bzw. Körperflüssigkeit des jeweiligen Unterkapitels oder Tabellenteils.

Wenn in den Tabellen die Einheit eines Wertes nicht mit der im Zeilenstichwort genannten übereinstimmt, steht die korrekte Einheit direkt hinter dem Wert. Die im Zeilenstichwort genannte Einheit ist damit für diesen Wert ungültig.

Soweit vorhanden, wurden von den Autoren arithmetischer Mittelwert, Standardabweichung und Wertespannweite (= Spannweite, Variationsbreite) zitiert. Es wurden in der Literaturübersicht nur Werte von den Geweben oder Körperflüssigkeiten zitiert, die in dieser Arbeit untersucht wurden. Nicht untersuchte Gewebe oder Körperflüssigkeiten wurden weggelassen.

Als Grundlage für die Literaturübersicht wurden alle erhältlichen Werte von Straußen (*Struthionidae*), Emus (*Dromaiidae*), Kasuaren (*Casuariidae*) und Rheas (*Rheidae*) unter deren deutschem Namen aufgelistet. [Im Deutschen wird meist der Name Nandu statt Rhea verwendet. Das Wort Nandu kommt aus der Guarani-Sprache Südamerikas: ñandu guazu = große Spinne, bezogen auf den großen Vogel mit den langen Beinen (MAYANS, 1980)]. Von Autoren zusammengefaßte Werte der gerade genannten, zur Ordnung *Struthioniformes* gehörenden Spezies wurden unter der Bezeichnung Ratiten (engl. Ratites) angegeben. Ferner wurden Vergleichswerte der Spezies Huhn (*Gallus gallus*), Pute (*Meleagris gallopavo*), Kaninchen (*Sylvilagus* spp.), Pferd (*Equus caballus*), Rind (*Bos taurus*) und Schwein (*Sus scrofa* var. *domesticus*) aufgeführt. Bei einigen Elementen wurden auch Werte von Wassergeflügel (Ordnung *Anatiformes*: Enten, Gänse, Schwäne) und in wenigen Fällen Werte anderer Spezies zitiert. Auf reine Fleischfresser wurde verzichtet, da deren Verdauungsapparat und Metabolismus sich noch mehr als der von pflanzen- oder allesfressenden Säugetieren von dem der Strauße unterscheidet.

DARSTELLUNG DER LITERATURWERTE IM TEXT:

Die vollständige, schriftliche Aufzählung aller Werte der verschiedenen Autoren mit den entsprechenden Details über Zahl und Alter der Tiere und die verwendeten Einheiten wäre in Textform zu unübersichtlich und verwirrend. Deshalb wurde die detaillierte Beschreibung der Literaturwerte auf die für jedes einzelne Element erstellten Wertetabellen beschränkt, die um ein Vielfaches übersichtlicher sind.

Im Text wurde nur die Gesamt-Spannweite oder die Spannweite der Mittelwerte von den Literaturwerten von Straußen angegeben, je nachdem, welche Werte einen objektiveren Eindruck über den Bereich der Literaturwerte vermitteln. Die Werte der anderen Spezies, einschließlich der allgemeinen Ratiten-Werte, wurden im Text der Übersichtlichkeit halber weggelassen. Es wurde jeweils die Zahl der zitierten Autoren als Orientierung über die Menge der erhältlichen Literaturdaten mit angegeben. Serum- und Plasmawerte wurden zusammenfassend als "Serumwerte" bezeichnet.

Auf vermutliche Einheitenfehler oder aus der Mehrheit herausfallende Werte einzelner Autoren sowie andere Besonderheiten wurde im Text zu den Literaturwerten der einzelnen Elemente kurz hingewiesen.

TABELLEN DER LITERATURWERTE:

Die Wertetabellen wurden chronologisch nach Veröffentlichungsjahr und Autor(en) geordnet. Das wurde gemacht, weil nicht auszuschließen ist, daß die Vergleichbarkeit der Werte durch methodische Optimierungen oder Verbesserungen nicht gewährleistet werden kann, besonders bei dem von 1930 bis 1998 reichenden Zeitraum der zitierten Veröffentlichungen. Zuerst wurden aber die für den Strauß vorhandenen Werte aufgeführt, dann die für die Ratiten als Gruppe, sowie die Werte für Emus, Kasuare und Rheas. Im Anschluß wurden Vergleichswerte für Geflügel (Huhn, Pute, z.T. Wassergeflügel) und Säugetiere (Kaninchen, Pferd, Rind, Schwein) angeführt.

Die Autoren und das Jahr der Veröffentlichung wurden in den Tabellenköpfen durch in Klammern gestellte Zahlen ersetzt und sind am Tabellenende aufgeführt. Konnten keine Werte für eine der genannten Spezies gefunden werden, wurde diese in der Tabelle weggelassen. Nicht vorhandene Werte von Geweben/Körperflüssigkeiten wurden durch "--" gekennzeichnet. Wenn von allen in einer Teiltabelle zitierten Autoren beispielsweise kein Mittelwert zur Leber vorhanden war, wurde diese Zeile samt Zeilenstichwort und -einheit weggelassen. Waren von den in einer Teiltabelle zitierten Autoren keine Angaben zu Serum, Leber oder Knochen(asche) vorhanden, wurde dieser Teil ebenfalls komplett weggelassen.

Für den Autor PULS (1994) wurde auf die Nennung der Zahl der untersuchten Tiere in den Tabellen verzichtet, da er in seinem Buch eine große Zahl Informationen verschiedener Autoren zusammengetragen hat. Hierbei nennt er zwar eine Zahl, diese stellt aber wohl die Höchstzahl der insgesamt von verschiedenen Autoren untersuchten Tiere für verschiedene Elemente dar. Die Zahl der je Element untersuchten Tiere dürfte deutlich unter der von PULS (1994) angegebenen Zahl liegen. Trotzdem sollen die von ihm genannten Zahlen der (insgesamt) untersuchten Tiere hier genannt werden:

Ratiten $n > 100$; Huhn $n > 200$; Pute $n = ?$; Wassergeflügel $n = ?$; Kaninchen $n > 100$; Pferd $n > 100$; Rind $n > 1000$; Schwein $n > 100$.

2.2.1.1 ABKÜRZUNGEN IN DEN TABELLEN DER LITERATURWERTE

Zahl	= Anzahl der untersuchten Tiere, falls bekannt
Alter	= Alter/Altersspanne der untersuchten Tiere, falls bekannt
n.b.	= nicht bekannt
--	= kein Wert vorhanden
Le	= Zahl der Tiere, von denen Leberwerte gewonnen wurden
Kn	= Zahl der Tiere, von denen Knochenwerte gewonnen wurden
Wo	= Wochen
Mo	= Monate

juv.	=	juvenil
\bar{x}	=	arithmetischer Mittelwert
s	=	Standardabweichung
R	=	Spannweite (Wertespannweite, Variationsbreite; engl. range)
wwt	=	Frisch- oder Feuchtmasse, nicht spezifiziert (engl. wet weight)
TM	=	Trockenmasse
% ff TM	=	% der fettfreien (Knochen-) Trockenmasse
% nff TM	=	% der nicht fettfreien (Knochen-) Trockenmasse
% FM	=	% der (Knochen-) Frischmasse
mg/kg ff TM	=	mg/kg der fettfreien (Knochen-) Trockenmasse
mg/kg nff TM	=	mg/kg der nicht fettfreien (Knochen-) Trockenmasse
inPO ₄	=	anorganisches Phosphat (engl. inorganic Phosphate)
PO ₄	=	Phosphat (ohne Angabe, ob anorganisches oder Gesamt-Phosphat)
totP	=	Gesamt-Phosphor (engl. total Phosphorus)
inP	=	anorganischer Phosphor (engl. inorganic Phosphorus)
P	=	Phosphor (nur benutzt, wenn vom Autor nicht klar beschrieben, was gemessen wurde, wie z.B. inPO ₄ oder totP)

2.2.2 Kalzium-Werte

2.2.2.1 SERUM - KALZIUM

Die Spannweite der zitierten Ca-Mittelwerte für Strauße im Serum bewegt sich zwischen 8,4 und 18,1 mg/dl. Die verwendeten Daten stammen von sechzehn verschiedenen Autoren.

Andere Daten dreier verschiedener Altersgruppen aus einer weiteren Quelle ergeben eine Spannweite der Ca-Mittelwerte im Serum von 20,0 - 25,0 mg/kg.

Die Einzelwerte sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1, Fortsetzung: Kalziumwerte nach Literaturangaben

Tierart Autoren	Strauß (1)	Strauß (2)	Strauß (2)	Strauß (3)	Strauß (4)
Zahl Alter	n.b. n.b.	4 juvenil	4 adult	49 1-60 Mo	1 adult
Serum/Plasma	Serum	Plasma	Plasma	Serum	Plasma
\bar{x} (mg/dl)	--	10,6	18,1	9,5	9,6
s (mg/dl)	--	$\pm 0,6$	$\pm 1,6$	$\pm 1,8$	--
R (mg/dl)	10,7-13,9	--	--	5,2-15,3	--
Literaturquellen: (1): HODGES (1991) (3): OKOTIE-EBOH et al. (1992) (2): PALOMEQUE et al. (1991) (4): VAN DER HEYDEN (1992)					

Tabelle 1, Fortsetzung: Kalziumwerte nach Literaturangaben

Tierart Autoren	Strauß (1)	Strauß (2)	Strauß (3)	Strauß (3)	Strauß (3)	Strauß (4)
Zahl Alter	8 4-8 Wo	2 adult	12Le, 21Kn 3-24 Wo	10Le, 8Kn juvenil	7Le, 11Kn adult	n.b. n.b.
Serum/Plasma	Serum	Serum				Serum
\bar{x} (mg/dl)	9,1	13,1	--	--	--	9,2
s (mg/dl)	--	$\pm 1,7$	--	--	--	$\pm 2,4$
R (mg/dl)	6,4-11,5	--	--	--	--	--
Leber						
R (mg/kg wwt)	--	--	41,2-112	38,8-106	52,4-94,9	--
Knochen						
R (% ff TM)	--	--	36,2-40,4	35,9-40,1	34,9-40,9	--
\bar{x} (% *)	22,1	--	--	--	--	--
R (% *)	20,0-24,0	--	--	--	--	--
Literaturquellen: (1): BEZUIDENHOUT et al. (1994) (2): LIEN & LU (1994) (3): SCHEIDELER et al. (1994) (4): STEWART (1994a)			* = Autoren (1) haben nicht angegeben, ob die Werte auf Feucht- oder fettfreie/nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens bezogen sind			

Tabelle 1, Fortsetzung: Kalziumwerte nach Literaturangaben

Tierart Autoren	Strauß (1)	Strauß (2)	Strauß (3)	Strauß (4)	Strauß (4)	Strauß (4)
Zahl Alter	n.b. adult	18 3-12 Mo	10 8-26 Wo	n.b. 4-6 Mo	n.b. 6-12 Mo	n.b. adult
Serum/ Plasma	Serum	Serum	Plasma	Serum	Serum	Serum
\bar{x} (mg/dl)	10,7	12,9	9,4	24,0 mg/kg	20,0 mg/kg	25,0 mg/kg
s (mg/dl)	--	$\pm 0,5$	$\pm 1,1$	$\pm 5,0$ mg/kg	$\pm 7,0$ mg/kg	$\pm 1,0$ mg/kg
R (mg/dl)	8,0-13,6	--	4,8-17,2	--	--	--
Literaturquellen: (1): FUDGE (1995) (2): ANGEL (1996) (3): BROWN & JONES (1996) (4): VAN CREVELD et al. (1996)						

Tabelle 1, Fortsetzung: Kalziumwerte nach Literaturangaben

Tierart Autoren	Strauß (1)	Strauß (2)
Zahl Alter	126 adult	n.b. n.b.
Serum/Plasma	Serum	Serum
\bar{x} (mg/dl)	11,7	11,2
s (mg/dl)	$\pm 3,2$	$\pm 2,0$
R (mg/dl)	4,9-22,9	8,8-16,4
Literaturquellen: (1): MUSHI et al. (1998) (2): OLOWOOKORUN & MAKINDE (1998)		

Tabelle 1, Fortsetzung: Kalziumwerte nach Literaturangaben

[illegible]

2.2.3 Phosphor-Werte

2.2.3.1 SERUM - PHOSPHOR

Bei den Serum-Phosphorwerten ist bei vielen Autoren die entsprechende Einheit nicht klar angegeben. Die große Mehrheit der zur Phosphorbestimmung verwendeten Methoden sind kolorimetrische Methoden, mit denen nach Ausfällung des organischen Materials der Gehalt an anorganischem Phosphat gemessen wird. Deren Ergebnisse können entweder den Gehalt an anorganischem Phosphat oder anorganischem Phosphor angeben, während mit einer Verdauungsmethode der Gehalt an Gesamtphosphor gefunden wird. Bei einigen Autoren ist weder aus der Einheit noch der Methodenbeschreibung zu ersehen, welche Einheit zu erwarten ist. Aufgrund der Probleme mit der exakten Identifizierung der korrekten Einheit wurde beim Serum- $\text{PO}_4\text{-P}$ auf die Umrechnung von mmol/l in mg/dl verzichtet. Die Werte werden hier der Übersicht halber nach Einheitengruppen geordnet aufgeführt.

Die Mittelwerte für anorganisches Phosphat liegen bei Straußen zwischen 5,2 und 19,0 mg/dl. Sie stammen von fünf Autoren.

Sechs weitere Autoren geben nur Werte für "Phosphor" an, ohne klarzustellen, ob es sich um Werte für anorganischen oder Gesamt-Phosphor oder sogar für anorganisches Phosphat handelt. Die Spannweite ihrer Serum-P-Mittelwerte bewegt sich zwischen 4,8 und 7,1 mg/dl.

Von vier Autoren wurden die Phosphor-Serumwerte in mmol/l angegeben. Die Spanne der Mittelwerte dieser ist 1,73 - 5,04 mmol/l. Auch sie benutzen die Bezeichnung "Phosphor" oder "anorganischer Phosphor", ohne eindeutig zu sagen, auf welche im Serum vorkommende P-Fraktion sich die Einheit bezieht.

Die "Phosphat"-Mittelwerte einer Autorengruppe erstrecken sich bei drei verschiedenen Altersgruppen im Serum von 13,0 - 16,0 mg/kg. Es wird jedoch

nicht erwähnt, ob es sich hierbei um anorganisches oder Gesamt-Phosphat handelt.

Die Einzelwerte sind in Tabelle 2 präsentiert.

2.2.3.2 LEBER - PHOSPHOR

Bei den für die Phosphorbestimmung in der Leber verwendeten Verdauungsmethoden wird immer der Gesamtphosphorgehalt des Gewebes bestimmt.

Für die Leber sind bisher keine Phosphorwerte vom Strauß veröffentlicht worden. In Tabelle 2 sind die Einzelwerte der anderen Spezies genannt.

2.2.3.3 KNOCHEN - PHOSPHOR

Bei den üblichen Knochenveraschungsmethoden mit anschließender Lösung der Asche in einer sauren Lösung wird der Gesamtphosphorgehalt bestimmt. Auch hier beschreiben einige Autoren weder die Einheit klar, noch die verwendete Methode, es ist aber aufgrund der Knochenveraschung und Lösung der Asche im Vorbereitungsprozeß anzunehmen, daß sich alle Werte auf den Gesamtphosphorgehalt der Knochenasche/des Knochens beziehen.

Bei drei verschiedenen Altersgruppen von Straußen wurde von derselben Autorengruppe insgesamt eine Wertespannweite für den Gesamtphosphorgehalt zwischen 16,5 und 20,1 % der fettfreien Knochen-Trockenmasse gefunden.

Eine Spannweite des Gesamtphosphorgehalts im Knochen von 8,4 - 10,0 % bei Straußen wird von einer weiteren Autorengruppe genannt. Sie schreiben aber nicht, ob diese Zahlen sich auf die Feucht- oder fettfreie/nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens beziehen.

Die Einzelwerte können in Tabelle 2 nachgelesen werden.

Tabelle 2. Fortsetzung: Phosphor-/Phosphatwerte nach Literaturangaben

Tierart Autoren	Strauß (1)	Strauß (2)	Strauß (2)	Strauß (3)	Strauß (4)	Strauß (5)	Strauß (6)
Zahl Alter	n.b. n.b.	4 juvenil	4 adult	49 1-60 Mo	1 adult	8 4-8 Wo	2 adult
Serum/ Plasma	Serum P	Plasma inPO ₄	Plasma inPO ₄	Serum inPO ₄	Plasma inPO ₄	Serum P	Serum P
\bar{x} (mg/dl)	--	12,0	13,7	5,2	6,2	1,98 mmol/l	4,8
s (mg/dl)	--	± 2,4	± 2,9	± 1,1	--	--	± 0,7
R (mg/dl)	4,0-9,9	--	--	3,2-7,4	--	1,47-3,42 mmol/l	--
Knochen						totP	
\bar{x} (% *)	--	--	--	--	--	9,1	--
R (% *)	--	--	--	--	--	8,4-10,0	--
Literaturquellen: (1): HODGES (1991) (2): PALOMEQUE et al. (1991) (3): OKOTIE-EBOH et al. (1992) (4): VAN DER HEYDEN (1992) (5): BEZUIDENHOUT et al. (1994) (6): LIEN & LU (1994)				* = Autoren (5) haben nicht angegeben, ob die Werte auf Feucht- oder fettfreie/nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens bezogen sind			

Tabelle 2, Fortsetzung: Phosphor-/Phosphatwerte nach Literaturangaben

[illegible]

2.2.4 Magnesium-Werte

2.2.4.1 SERUM - MAGNESIUM

Die Spannweite der sich in der Literatur findenden Mg-Mittelwerte im Serum von Straußen reicht von 1,46 bis 5,59 mg/dl. Diese Werte stammen von neun Autoren.

Bei drei Altersgruppen von Straußen einer weiteren Autorengruppe liegen die Serum-Mittelwerte zwischen 9,0 und 14,0 mg/kg. Ein anderer Autor ermittelte einen deutlich höheren Serum-Mittelwert für Strauße von 49,1 mg/kg.

Die Einzelwerte sind in Tabelle 3 aufgelistet.

2.2.4.2 LEBER - MAGNESIUM

Die erhältlichen Mg-Leberwerte für Strauße stammen von drei Altersgruppen derselben Autoren, die eine Wertespannweite von 6,0 - 206 mg/kg wwt angeben. Die Einzelwerte sind in Tabelle 3 genannt.

2.2.4.3 KNOCHEN - MAGNESIUM

Eine Autorengruppe untersuchte drei verschiedene Altersgruppen von Straußen auf den Magnesiumgehalt im Knochen. Die Wertespannweite lag zwischen 0,50 und 1,30 % der fettfreien Knochen-Trockenmasse.

Eine weitere Autorengruppe nennt für den Mg-Gehalt im Knochen von Straußen eine Spannweite von 0,38 - 0,51 %. Die Autoren geben aber nicht an, ob es sich um Feucht- oder fettfreie/nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens handelt.

Die Einzelwerte sind in Tabelle 3 aufgeführt.

2.2.4.4 VOLLBLUT - MAGNESIUM

Für Mg-Werte im Vollblut von Straußen wird von einem Autor eine Spannweite von 7,1 bis 8,4 mg/dl angegeben. Die Werte sind in Tabelle 3 nachzulesen.

Tabelle 3, Fortsetzung: Magnesiumwerte nach Literaturangaben

Tierart Autoren	Strauß (1)	Strauß (2)	Strauß (3)	Strauß (4)	Strauß (4)	Strauß (4)
Zahl Alter	4 adult	8 4-8 Wo	10 8-26 Wo	12Le, 21Kn 3-24 Wo	10Le, 8Kn juvenil	7Le, 11Kn adult
Serum/Plasma	Plasma	Serum	Plasma			
\bar{x} (mg/dl)	2,24	2,13	2,19	--	--	--
s (mg/dl)	$\pm 0,19$	--	$\pm 0,44$	--	--	--
R (mg/dl)	--	1,48- 2,41	1,41-3,21	--	--	--
Leber						
R (mg/kg wwt)	--	--	--	6-191	125-176	128-206
Knochen						
R (% ff TM)	--	--	--	0,57-1,30	0,50-0,97	0,50-0,74
\bar{x} (% *)	--	0,44	--	--	--	--
R (% *)	--	0,38- 0,51	--	--	--	--
Literaturquellen: (1): PALOMEQUE et al. (1991) (2): BEZUIDENHOUT et al. (1994) (3): BROWN & JONES (1996) (4): SCHEIDELER et al. (1994)			* = Autoren (2) haben nicht angegeben, ob die Werte auf Feucht- oder fettfreie/nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens bezogen sind			

Tabelle 3, Fortsetzung: Magnesiumwerte nach Literaturangaben

Tierart	Rhea	Huhn	Huhn	Kaninchen (2)	Pferd	Rind	Schwein
Autoren	(1)	(2)	(3)	(2)	(2)	(2)	(2)
Zahl Alter	18 adult	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
Serum/ Plasma		Serum		Serum	Serum	Serum	Serum
R (mg/dl)	--	1,30-3,60	--	1,80- 2,50	1,80- 3,50	1,8-3,5	1,80- 3,90
Leber							
\bar{x} (mg/kg TM) s (mg/kg TM)	201,0 \pm 263	-- --	-- --	-- --	-- --	-- --	-- --
R (mg/kg wwT)	--	100-250	--	160-200	130-200	100-250	150-200
Knochenasche							
\bar{x} (%) R (%)	-- --	-- 0,50-0,80	0,58 --	-- --	-- 0,55- 0,60	-- 0,63-1,25	-- 0,58- 0,75
Knochen							
R (% nff TM)	--	--	--	--	--	0,40-0,72	--
\bar{x} (% ff TM) s (% ff TM) R (% ff TM)	0,52 \pm 0,04 --	-- -- 0,35-0,40	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --	-- -- --
Literaturquellen: (1): SCHEIDELER et al. (1996) (2): PULS (1994) (3): LEESON et al. (1995)							

2.2.5 Zink-Werte

2.2.5.1 SERUM - ZINK

Die Spannweite von Zn-Werten im Serum von Straußen liegt im Bereich von 0,041 bis 0,164 mg/dl. Sie stammt von drei Autoren. Die Einzelwerte sind in Tabelle 4 genannt.

2.2.5.2 LEBER - ZINK

Für den Strauß liegt die Spannweite der Zink-Leberwerte in der Literatur zwischen 11,9 und 512 mg/kg wwt. Sie resultiert aus den Daten von drei Autoren. Die Einzelwerte werden in Tabelle 4 präsentiert.

2.2.5.3 KNOCHEN - ZINK

Bei drei verschiedenen Altersgruppen von Straußen wurde von einer Autorengruppe eine Spannweite der Zn-Werte von 15,1 bis 45,6 mg/kg der fettfreien Knochen-Trockenmasse ermittelt.

Eine weitere Autorengruppe nennt für Zn-Werte bei Straußen im Knochen eine Spannweite von 160 - 240 mg/kg, wobei sie nicht angibt, ob es sich hierbei um Feucht- oder fettfreie/nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens handelt.

In Tabelle 4 können die Einzelwerte nachgelesen werden.

Tabelle 4: Zinkwerte nach Literaturangaben

Verwendete Abkürzungen siehe 2.2.1.1

Tierart Autoren	Strauß (1)	Strauß (2)	Strauß (3)	Strauß (3)	Strauß (3)
Zahl Alter	n.b. n.b.	8 4-8 Wo	12Le, 21Kn 3-24 Wo	10Le, 8Kn juvenil	7Le, 11Kn adult
Serum/Plasma		Serum			
\bar{x} (mg/dl)	--	0,069	--	--	--
R (mg/dl)	--	0,041-0,125	--	--	--
Leber					
R (mg/kg wwt)	23-86	--	13,5-188	11,9-150	30,1-512
Knochen					
R (mg/kg ff TM)	--	--	24,3-45,6	17,8-36,2	15,1-32,4
\bar{x} (mg/kg *)	--	214,7	--	--	--
R (mg/kg *)	--	160-240	--	--	--
Literaturquellen: (1): EDWARDS et al. (1992) (2): BEZUIDENHOUT et al. (1994) (3): SCHEIDELER et al. (1994)			* = Autoren (2) haben nicht angegeben, ob die Werte auf Feucht- oder fettfreie/nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens bezogen sind		

Tabelle 4, Fortsetzung: Zinkwerte nach Literaturangaben

Tierart	Ratiten	Huhn	Huhn	Kanin- chen	Pferd	Rind	Schwein
Autoren	(1)	(1)	(2)	(1)	(1)	(1)	(1)
Zahl	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Alter	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Serum/Plasma	Serum	Serum		Serum	Serum	Serum	Serum
R (mg/kg)	0,68- 2,96	1,45- 3,40	--	1,40- 2,10	0,47- 1,70	0,80- 1,40	0,70- 1,50
Leber							
R (mg/kg wwt)	22-130	25-40	--	30-80	40-125	25-100	40-90
Knochenasche							
\bar{x} (mg/kg)	--	--	220	--	--	--	--
R (mg/kg)	--	400-600	--	--	--	--	--
Knochen							
\bar{x} (mg/kg TM*)	--	--	--	120	--	--	--
R (mg/kg TM*)	--	200-400	--	--	65-75	70-250	95-146
Literaturquellen: (1): PULS (1994) (2): LEESON et al. (1995)			* = Autor (1) hat nicht angegeben, ob die Werte auf fettfreie oder nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens bezogen sind				

2.2.6 Eisen-Werte

2.2.6.1 SERUM - EISEN

Die Spannweite der Serum-Fe-Werte für Strauße reicht von 0,012 bis 0,503 mg/dl und stammt von einer Autorengruppe.

Eine weitere Gruppe von Autoren nennt einen Serum-Mittelwert für Fe bei Straußen von 406,2 mg/dl. Da dieser Wert um das 1000fache höher liegt als die anderen muß stark vermutet werden, daß es sich hierbei um einen Druckfehler handelt und es eigentlich 406,2 µg/dl heißen sollte, was 0,4062 mg/dl entsprechen würde. Dies wurde auch in einer zweiten Veröffentlichung der Autoren berichtigt (LIEN & LU, 1998). Entsprechend wurden in Tabelle 5 die korrigierten Werte angegeben.

Ein Autor berichtet einen Serum-Mittelwert für Strauße von 0,53 mg/kg.

Die Einzelwerte sind in Tabelle 5 aufgelistet.

2.2.6.2 LEBER - EISEN

Die Spannweite der Fe-Leberwerte in der Literatur erstreckt sich beim Strauß über einen Bereich von 1,0 bis 3498 mg/kg ww. Sie geht zurück auf zwei Autoren. Die Einzelwerte sind in Tabelle 5 zu finden.

2.2.6.3 KNOCHEN - EISEN

Die Spannweite der Knochen-Eisenwerte von Straußen in der Literatur reicht von 1,9 bis 151,6 mg/kg der fettfreien Knochen-Trockenmasse. Sie basiert auf Werten von drei Altersgruppen derselben Autoren. Die Einzelwerte können in Tabelle 5 nachgelesen werden.

2.2.6.4 VOLLBLUT - EISEN

Für Vollblut konnten keine Literaturwerte gefunden werden.

Tabelle 5, Fortsetzung: Eisenwerte nach Literaturangaben

Tierart Autoren	Huhn (1)	Huhn (2)	Kaninchen (1)	Pferd (1)	Rind (1)	Schwein (1)
Zahl	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Alter	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Serum/Plasma	Serum			Serum	Serum	Serum
R (mg/dl)	0,16-0,30	--	--	0,084-0,257	0,13-0,25	0,10-0,15
Leber						
R (mg/kg wwt)	60-300	--	100-300	100-300	45-300	100-200
Knochenasche						
\bar{x} (mg/kg)	--	460	--	--	--	--
R (mg/kg)	50-80	--	--	--	--	43-46
Knochen						
R (mg/kg TM *)	--	--	--	--	29-38	--
Literaturquellen: (1): PULS (1994) (2): LEESON et al. (1995)			* = Autor (1) hat nicht angegeben, ob die Werte auf fettfreie oder nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens bezogen sind			

2.2.7 Kupfer-Werte

2.2.7.1 SERUM - KUPFER

Zwei Autorengruppen fanden Serum-Cu-Mittelwerte bei Straußen von 0,027 bzw. 0,069 mg/dl. Die Spannweite der Cu-Mittelwerte im Straußenserum reicht bei drei anderen Autoren von 0,15 bis 0,32 mg/kg. Einzelwerte sind in Tabelle 6 genannt.

2.2.7.2 LEBER - KUPFER

Die Cu-Leberwerte liegen bei Straußen in der Literatur zwischen 1,32 und 8,8 mg/kg wwt und stammen von zwei Autoren. In Tabelle 6 stehen die Einzelwerte.

2.2.7.3 KNOCHEN - KUPFER

Für Kupfer wird von einer Autorengruppe eine Spannweite (R) an Knochenwerten bei drei verschiedenen Altersgruppen von Straußen angegeben. R liegt hier bei 0,3 - 43,3 mg/kg der fettfreien Knochen-Trockenmasse. Eine weitere Gruppe von Autoren beschreibt die Cu-Werte in Straußenknochen als unter 10 mg/kg liegend, allerdings ohne anzugeben, ob diese Werte sich auf Feucht- oder fettfreie/nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens beziehen. Die Einzelwerte sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Kupferwerte nach Literaturangaben

Verwendete Abkürzungen siehe 2.2.1.1

Tierart Autoren	Strauß (1)	Strauß (2)	Strauß (3)	Strauß (3)	Strauß (3)	Strauß (4)
Zahl	n.b.	8	12Le 21Kn	10Le 8Kn	7Le 11Kn	36Ser 17Le
Alter	n.b.	4-8 Wo	3-24 Wo	juvenil	adult	n.b.
Serum/Plasma	Serum	Serum				Serum
\bar{x} (mg/dl)	0,32 mg/kg	0,027	--	--	--	0,264 mg/kg
R (mg/dl)	0,20-0,40 mg/kg	0,013- 0,038	--	--	--	--
Leber						
\bar{x} (mg/kg wwt)	--	--	--	--	--	8,8
R (mg/kg wwt)	--	--	1,61-5,61	1,32-4,42	2,05-7,94	--
Knochen						
R (mg/kg ff TM)	--	--	0,4-23,7	0,3-43,3	0,3-17,0	--
R (mg/kg *)	--	< 10	--	--	--	--
Literaturquellen: (1): EDWARDS et al. (1992) (2): BEZUIDENHOUT et al. (1994) (3): SCHEIDELER et al. (1994) (4): VANHOOSER et al. (1994)			* = Autoren (2) haben nicht angegeben, ob die Werte auf Feucht- oder fettfreie/nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens bezogen sind			

Tabelle 6, Fortsetzung: Kupferwerte nach Literaturangaben

Tierart	Huhn	Huhn	Pute	Kanin- chen	Pferd	Rind	Schwein
Autoren	(1)	(2)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Zahl	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Alter	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Serum/Plasma	Serum		Serum	Serum	Serum	Serum	Serum
R (mg/kg)	0,08-0,45	--	0,18-0,28	2,0-2,4	0,5-2,0	0,6-1,5	1,3-3,0
Leber							
R (mg/kg wwt)	3,0-15,0	--	5,0-10,0	8,0-50,0	4,0-7,5	25-100	5,0-100
Knochen- asche							
\bar{x} (mg/kg)	--	20	--	--	--	--	--
R (mg/kg)	4,0-6,0	--	--	--	--	--	6,0-7,5
Knochen							
R (mg/kg TM *)	--	--	--	--	--	5,5-6,5	--
Literaturquellen: (1): PULS (1994) (2): LEESON et al. (1995)			* = Autor (1) hat nicht angegeben, ob die Werte auf fettfreie oder nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens bezogen sind				

2.2.8 Mangan-Werte

2.2.8.1 SERUM - MANGAN

Eine Autorengruppe fand Mn-Serumwerte bei Straußen zwischen 0,0018 und 0,0037 mg/dl. Die Werte einer anderen Autorengruppe reichen von 0,033 bis 0,043 mg/kg. Die Einzelwerte werden in Tabelle 7 genannt.

2.2.8.2 LEBER - MANGAN

Für den Strauß existieren in der Literatur anscheinend noch keine Leberwerte für Mangan. Die Einzelwerte der anderen Spezies sind in Tabelle 7 aufgeführt.

2.2.8.3 KNOCHEN - MANGAN

Eine Autorengruppe gibt eine Spannweite für Mn-Knochenwerte bei Straußen aus drei verschiedenen Altersgruppen an, die Spannweite für alle Tiere liegt hier bei 0,5 - 5,7 mg/kg der fettfreien Knochen-Trockenmasse. Eine andere Gruppe von Autoren gibt an, daß die Mn-Knochenwerte bei den von ihnen untersuchten Straußen unter 10 mg/kg der Knochenmasse lagen. Sie schreiben aber nicht, ob diese Werte sich auf Feucht- oder fettfreie/nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens beziehen. Die Einzelwerte werden Tabelle 7 präsentiert.

Tabelle 7: Manganwerte nach Literaturangaben

Verwendete Abkürzungen siehe 2.2.1.1

Tierart Autoren	Strauß (1)	Strauß (2)	Strauß (2)	Strauß (2)	Strauß (3)	Rhea (4)
Zahl Alter	8 4-8 Wo	21 3-24 Wo	8 juvenil	11 adult	126 adult	18 adult
Serum/Plasma	Serum				Serum	
\bar{x} (mg/dl)	0,0020	--	--	--	0,034 mg/kg	--
s (mg/dl)	--	--	--	--	$\pm 0,0001$ mg/kg	--
R (mg/dl)	0,0018- 0,0037	--	--	--	0,033-0,043 mg/kg	--
Leber						
\bar{x} (mg/kg TM)	--	--	--	--	--	1,91
s (mg/kg TM)	--	--	--	--	--	$\pm 0,38$
Knochen						
\bar{x} (mg/kg ff TM)	--	--	--	--	--	6,2
s (mg/kg ff TM)	--	--	--	--	--	$\pm 1,6$
R (mg/kg ff TM)	--	0,5-1,5	0,5-1,0	0,5-5,7	--	--
R (mg/kg *)	< 10	--	--	--	--	--
Literaturquellen: (1): BEZUIDENHOUT et al. (1994) (2): SCHEIDELER et al. (1994) (3): MUSHI et al. (1998) (4): SCHEIDELER et al. (1996)			* = Autoren (1) haben nicht angegeben, ob die Werte auf Feucht- oder fettfreie/nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens bezogen sind			

Tabelle 7, Fortsetzung: Manganwerte nach Literaturangaben

Tierart	Ratiten	Huhn	Huhn	Kanin- chen	Pferd	Rind	Schwein
Autoren	(1)	(1)	(2)	(1)	(1)	(1)	(1)
Zahl	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Alter	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Serum/ Plasma		Serum				Serum	Vollblut
\bar{x} (mg/dl)	--	--	--	--	--	--	0,040 mg/kg
R (mg/dl)	--	0,003- 0,005	--	--	--	0,006-0,070 mg/kg	--
Leber							
R (mg/kg ww)	1,0-4,6	2,0-4,0	--	1,0-2,0	1,0-6,0	2,5-6,0	2,3-4,0
Knochenasche							
\bar{x} (mg/kg)	--	--	3,0	--	--	--	--
R (mg/kg)	--	7-13	--	--	--	--	3,8-7,0
Knochen							
R (mg/kg ff TM)	--	7,7-12	--	--	--	--	--
R (mg/kg TM *)	--	--	--	--	--	1,4-4,3	--
Literaturquellen: (1): PULS (1994) (2): LEESON et al. (1995)			* = Autor (1) hat nicht angegeben, ob die Werte auf fettfreie oder nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens bezogen sind				

2.2.9 Selen-Werte

2.2.9.1 SERUM - SELEN

Anscheinend existieren keine Serum-Literaturwerte von Straußen für Selen. Einzelwerte der anderen Spezies sind in Tabelle 8 zu sehen.

2.2.9.2 LEBER - SELEN

Eine Autorengruppe präsentiert die einzigen Selen-Leberwerte von Straußen dreier verschiedener Altersgruppen: Die Spannweite der Se-Werte beträgt

2.2.10 Chrom-Werte

2.2.10.1 SERUM - CHROM

Für Strauße und andere Ratiten existieren bisher keine Serumwerte für Chrom. Tabelle 9 zeigt Einzelwerte der übrigen Spezies.

2.2.10.2 LEBER - CHROM

Auch für die Leber existieren noch keine Werte für Chrom von Straußen und anderen Ratiten. Für Einzelwerte der anderen Spezies siehe Tabelle 9.

Tabelle 9: Chromwerte nach Literaturangaben

Verwendete Abkürzungen siehe 2.2.1.1

Tierart Autoren	Huhn (1)	Kaninchen (1)	Rind (1)
Zahl Alter	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
Serum/Plasma	Serum	Serum	Serum
R (mg/dl)	0,019-0,029	0,0001-0,0003 mg/kg	0,000025-0,000030
Leber			
R (mg/kg ww)	0,05-0,40	0,3-1,0	0,04-3,80
Literaturquellen: (1): PULS (1994)			

2.2.11 Kobalt-Werte

2.2.11.1 SERUM - KOBALT

Auch für Kobalt existieren keine Serumwerte von Straußen bzw. Ratiten in der Literatur. Die Einzelwerte der übrigen Spezies sind in Tabelle 10 zu finden.

2.2.11.2 LEBER - KOBALT

Leberwerte für Kobalt von Straußen bzw. Ratiten sind in der Literatur nicht vorhanden. Die Einzelwerte der anderen Spezies stehen in Tabelle 10.

Tabelle 10: Kobaltwerte nach Literaturangaben

Verwendete Abkürzungen siehe 2.2.1.1

Tierart Autoren	Huhn (1)	Rind (1)	Schwein (1)
Zahl	n.b.	n.b.	n.b.
Alter	n.b.	n.b.	n.b.
Serum/Plasma	Serum	Serum	Serum
R (mg/dl)	0,013-0,018	0,00009-0,0015	0,17-0,60 mg/kg
Leber			
R (mg/kg TM)	0,26-0,85	--	1,0-2,0
R (mg/kg wwt)	--	0,020-0,085	--
Literaturquellen: (1): PULS (1994)			

2.2.12 Natrium-Werte

2.2.12.1 SERUM - NATRIUM

Die Spannweite der Natrium-Mittelwerte für Straußenserum erstreckt sich in der Literatur von 132 bis 171,8 mmol/l. Die Werte stammen von dreizehn verschiedenen Autoren. Die Einzelwerte sind in Tabelle 11 aufgeführt.

Tabelle 11, Fortsetzung: Natriumwerte nach Literaturangaben

Tierart Autoren	Strauß (1)	Strauß (2)	Strauß (3)	Ratiten (4)	Emu (5)	Emu (6)	Kasuar (7)	Kasuar (8)
Zahl Alter	n.b. adult	126 adult	n.b. n.b.	n.b. n.b.	5 2-12 Wo	6 4-8 Wo	2 adult	n.b. n.b.
Serum/ Plasma	Serum	Serum	Serum	Serum	Plasma	Plasma	Serum	Serum
\bar{x} (mmol/l)	151	152,0	158	--	157,6	158	149,3	149,0
s (mmol/l)	± 33	$\pm 0,5$	$\pm 7,5$	--	$\pm 7,9$	$\pm 17,2$	$\pm 2,1$	$\pm 2,1$
R (mmol/l)	--	140- 155	138- 168	130- 145	--	--	147- 151	--
Literaturquellen: (1): LEVY et al. (1996) (2): MUSHI et al. (1998) (3): OLOWOOKORUN & MAKINDE (1998) (4): BRUNING & DOLENSEK (1986) (5): ROWLAND et al. (1996) (6): WOLF et al. (1996) (7): STOSKOPF et al. (1982) (8): STEWART (1994a)								

Tabelle 11, Fortsetzung: Natriumwerte nach Literaturangaben

Tierart Autoren	Huhn (1)	Huhn (2)	Pute (1)	Pute (2)	Kaninchen (1)	Pferd (1)	Rind (1)	Schwein (1)
Zahl Alter	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
Serum/Plasma	Ser.	Ser.	Ser.	Ser.	Serum	Ser.	Ser.	Serum
R (mmol/l)	122- 163	131- 171	145- 147	149- 155	133-158	130- 143	135- 150	140-150
Literaturquellen: (1): PULS (1994) (2): SCHALES & SCHALES (1994)						Ser. = Serum		

Tabelle 13, Fortsetzung: Chloridwerte nach Literaturangaben

Tierart Autoren	Strauß (1)	Strauß (1)	Strauß (2)	Strauß (3)	Emu (4)	Kasuar (5)	Kasuar (2)
Zahl Alter	4 juvenil	4 adult	n.b. n.b.	126 adult	5 2-12 Wo	2 adult	n.b. n.b.
Serum/Plasma	Plasma	Plasma	Serum	Serum	Plasma	Serum	Serum
\bar{x} (mmol/l)	10,6	8,8	100,0	104,0	35,9	108,0	108,0
s (mmol/l)	$\pm 0,7$	$\pm 1,2$	$\pm 16,0$	$\pm 0,6$	$\pm 2,6$	± 0	$\pm 0,0$
R (mmol/l)	--	--	--	85-115	--	108-108	--
Literaturquellen: (1): PALOMEQUE et al. (1991) (2): STEWART (1994a) (3): MUSHI et al. (1998) (4): ROWLAND et al. (1996) (5): STOSKOPF et al. (1982)							

Tabelle 13, Fortsetzung: Chloridwerte nach Literaturangaben

Tierart Autoren	Huhn (1)	Pute (1)	Kaninchen (1)	Pferd (1)	Rind (1)	Schwein (1)
Zahl Alter	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
Serum/Plasma	Plasma	Plasma	Serum	Serum	Serum	Serum
R (mmol/l)	117-150	110-121	90-120	98-109	95-110	98-106
Literaturquellen: (1): PULS (1994)						

2.2.15 Blei-Werte

2.2.15.1 LEBER - BLEI

Werte von Straußen hierfür existieren in der Literatur noch nicht. (EDWARDS et al. (1992) geben für Strauße Blei-Blutwerte im toxischen Konzentrationsbereich an,

die aber nicht Teil dieser Untersuchung sind). Einzelwerte der anderen Spezies werden in Tabelle 14 präsentiert.

2.2.15.2 KNOCHEN - BLEI

Für Strauße und andere Ratiten konnten in der Literatur keine Pb-Knochenwerte gefunden werden. In Tabelle 14 sind Einzelwerte der übrigen Spezies zu finden.

Tabelle 14: Bleiwerte nach Literaturangaben

Verwendete Abkürzungen siehe 2.2.1.1

Tierart Autoren	Ratiten (1)	Huhn (1)	Huhn (2)	Wassergeflügel (1)	H-Ente (3)	S-Ente (4)
Zahl	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5	5
Alter	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6 Wo	n.b.
Leber						
\bar{x} (mg/kg ww)	--	--	--	--	3,1	0,2
R (mg/kg ww)	< 2,0	0,1-0,5	--	0,05-0,50	--	--
Knochenasche						
\bar{x} (mg/kg)	--	--	1,5	--	--	--
Knochen						
R (mg/kg TM *)	--	--	--	0,4-10,0	--	--
R (mg/kg **)	--	< 50	--	--	--	--
\bar{x} (mg/kg ww)	--	--	--	--	8,4	17,3
Literaturquellen: (1): PULS (1994) (2): LEESON et al. (1995) (3): DEL BONO & BRACA (1973) (4): CHASKO et al. (1984)			Wassergeflügel = (Enten, Gänse, Schwäne) H-Ente = Hausente (<i>Anas platyrhynchos</i> var. <i>dom.</i>) S-Ente = Stockente (<i>Anas platyrhynchos</i>) * = Autor (1) hat nicht angegeben, ob die Werte auf fettfreie oder nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens bezogen sind ** = Autor (1) hat nicht angegeben, ob die Werte auf Feucht- oder fettfreie/nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens bezogen sind			

Tabelle 14, Fortsetzung: Bleiwerte nach Literaturangaben

Tierart Autoren	S-Ente (1)	S-Ente (2)	Kaninchen (3)	Pferd (3)	Rind (4)	Rind (3)	Schwein (3)
Zahl	Le121 Kn123	Le30 Kn18	n.b.	n.b.	231	n.b.	n.b.
Alter	juvenil + adult	juvenil + adult	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Leber							
× (mg/kg ww)	--	--	--	--	0,15	--	--
R (mg/kg ww)	--	--	0,2-0,6	0,04- 1,4	0,01- 1,25	0,04- 0,50	0,2-0,6
× (mg/kg TM)	0,80	--	--	--	--	--	--
R (mg/kg TM)	0,09- 18,80	0,08- 20,10	--	--	--	--	--
Knochen- asche							
× (mg/kg)	9,10	--	--	--	--	--	--
R (mg/kg)	0,82- 248,03	1,50- 170,66	--	--	--	--	--
Knochen							
R (mg/kg TM *)	--	--	--	3,0-4,0	--	1,0-7,0	--
× (mg/kg **)	--	--	--	--	--	--	1,0
Literaturquellen: (1): GERBIG (1992) (2): GERBIG (1996) (3): PULS (1994) (4): ANONYM (1990a)			S-Ente = Stockente (<i>Anas platyrhynchos</i>) * = Autor (3) hat nicht angegeben, ob die Werte auf fettfreie oder nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens bezogen sind ** = Autor (3) hat nicht angegeben, ob die Werte auf Feucht- oder fettfreie/nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens bezogen sind				

2.2.16 Arsen-Werte

2.2.16.1 LEBER - ARSEN

Für die Leber existieren keine Arsen-Werte von Straußen in der Literatur. Einzelwerte für die anderen Spezies können in Tabelle 15 nachgelesen werden.

Tabelle 15: Arsenwerte nach Literaturangaben

Verwendete Abkürzungen siehe 2.2.1.1

Tierart Autoren	Ratiten (1)	Huhn (1)	Kaninchen (1)	Pferd (1)	Rind (1)	Schwein (1)
Zahl Alter	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
Leber						
R (mg/kg ww)	< 0,5	0,02-0,25	< 1,0	0,02-0,13	0,004-0,40	0,003-0,20
Literaturquellen: (1): PULS (1994)						

2.2.17 Cadmium-Werte

2.2.17.1 LEBER - CADMIUM

Auch für Cadmium existieren bisher keine Leberwerte von Straußen in der Literatur. In Tabelle 16 sind die Einzelwerte der anderen Spezies zu sehen.

Tabelle 16: Cadmiumwerte nach Literaturangaben

Verwendete Abkürzungen siehe 2.2.1.1

Tierart Autoren	Ratiten (1)	Huhn (1)	Was.- gefl. (1)	S-Ente (2)	Kanin- chen (1)	Pferd (1)	Rind (1)	Schwein (1)
Zahl Alter	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	3 n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.	n.b. n.b.
Leber								
\bar{x} (mg/kg TM)	--	--	--	0,19	--	--	--	--
s (mg/kg TM)	--	--	--	$\pm 0,04$	--	--	--	--
R (mg/kg ww)	< 0,2	0,01- 0,50	0,01- 0,3	--	0,2- 1,1	0,01- 5,0	0,01- 1,0	0,04- 0,50
Literaturquellen: (1): PULS (1994) (2): CARPENÈ et al. (1995)			Was.gefl. = Wassergeflügel (Enten, Gänse, Schwäne) S-Ente = Stockente (<i>Anas platyrhynchos</i>)					

2.2.18 Silizium-Werte

2.2.18.1 KNOCHEN - SILIZIUM

Für Silizium konnten weder für Strauße, noch für andere Ratiten oder die anderen, normalerweise für Vergleichswerte verwendeten Spezies Knochenwerte in der Literatur gefunden werden. Die einzigen Literaturwerte stammen von Ratten und Rhesus-Affen und sind in Tabelle 17 aufgeführt.

Tabelle 17: Siliziumwerte nach Literaturangaben

Verwendete Abkürzungen siehe 2.2.1.1

Tierart Autor	Ratte * (1)	Rhesus-Affe ** (1)	Rhesus-Affe *** (1)
Zahl Alter	18 adult	17 adult	14 adult
Knochen			
\bar{x} (mg/kg nff TM)	38,2	42,9	456,3
s (mg/kg nff TM)	$\pm 19,2$	$\pm 9,3$	$\pm 71,0$
\bar{x} (mg/kg wwt)	25,2	23,1	167,3
s (mg/kg wwt)	$\pm 12,7$	$\pm 5,0$	$\pm 26,0$
Literaturquellen: (1): LE VIER (1975)		* (<i>Rattus rattus</i>) ganzer Femur analysiert ** (<i>Macaca mulatta</i>) Femurschaft analysiert *** (<i>Macaca mulatta</i>) Femurkopf inclusive Epiphyse analysiert	

2.2.19 Fluor-Werte

2.2.19.1 KNOCHEN - FLUOR

Weder für Strauße, noch für andere Ratiten waren Fluor-Werte für Knochen in der Literatur auffindbar. In Tabelle 18 sind Einzelwerte für die übrigen Spezies zu finden.

Tabelle 18: Fluorwerte nach Literaturangaben

Verwendete Abkürzungen siehe 2.2.1.1

Tierart Autoren	Huhn (1)	Huhn (2)	Rind (1)	Schwein (1)
Zahl	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Alter	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Knochenasche				
\bar{x} (mg/kg)	--	20	--	--
R (mg/kg)	550-6500	--	--	200-1100
Knochen				
R (mg/kg ff TM)	--	--	200-1800	700-800
R (mg/kg TM *)	538-2000	--	--	--
Literaturquellen: (1): PULS (1994) (2): LEESON et al. (1995)		* = Autor (1) hat nicht angegeben, ob die Werte auf fettfreie oder nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens bezogen sind		

2.2.20 Aluminium-Werte

2.2.20.1 KNOCHEN - ALUMINIUM

Für Aluminium konnten in der Literatur keine Knochenwerte von Straußen oder Ratiten gefunden werden. Tabelle 19 zeigt Einzelwerte der anderen Spezies.

Tabelle 19: Aluminiumwerte nach Literaturangaben

Verwendete Abkürzungen siehe 2.2.1.1

Tierart Autoren	Huhn (1)	Rind (1)	Schwein (1)
Zahl	n.b.	n.b.	n.b.
Alter	n.b.	n.b.	n.b.
Knochenasche			
R (mg/kg)	--	--	32-35
Knochen			
R (mg/kg TM *)	1,5-8,3	6,0-60,0	--
Literaturquellen: (1): PULS (1994)		* = Autor (1) hat nicht genannt, ob Werte sich auf fettfreie oder nicht fettfreie Knochen-TM beziehen	

2.3 Weitere Werte bei Leber- und Knochenproben

2.3.1 Feuchtigkeitsgehalt in frischen und Formalin-gelagerten Leberproben

Bisher sind keine Daten über Feuchtigkeitsgehalte in Straußenlebern erhältlich. Die im Text zitierten Literaturwerte von anderen Tierarten sind gerundet.

THERON et al. (1974) untersuchten den Feuchtigkeitsgehalt in frischen und in Formalin-gelagerten Rinderlebern. Ihre Ergebnisse beim Vergleich nicht homogenisierter mit homogenisierten Leberproben innerhalb der Lebern deuteten bei den frischen Lebern auf eine unvollkommen homogene Verteilung innerhalb der Lebern hin, wobei der Unterschied nicht signifikant war. Bei den Formalin-gelagerten Lebern konnten sie zeigen, daß die Unterschiede in der Feuchtigkeitsverteilung innerhalb der Lebern nicht signifikant waren (95%-Konfidenzintervall). Weiterhin verglichen sie die Feuchtigkeitsgehalte von 10 frischen und von 8 Formalin-gelagerten Lebern. Die Formalin-gelagerten Lebern waren zwischen 216 und 729 Tagen gelagert worden. Der Mittelwert der frischen Lebern lag bei 66,4 % Feuchtigkeit mit einer Standardabweichung von 2,6 % . Der Mittelwert der Formalin-gelagerten Lebern lag bei 68,0 % Feuchtigkeit mit einer Standardabweichung von 2,5 %.

Die Unterschiede zwischen den frischen Lebern, genauso wie die zwischen den Formalin-gelagerten Lebern, und damit deren Einfluß auf Mineral- und Spurenelementwerte, wurden von THERON et al. (1974) im Vergleich zu "bewiesenen biologischen Variationen" (Zitat der Autoren) der Mineral- und Spurenelementwerte als gering angesehen. Der Vergleich zwischen den Feuchtigkeitsgehalten der frischen und der Formalin-gelagerten Lebern zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied (95%-Konfidenzintervall).

Die Autoren kamen zu folgenden Schlußfolgerungen:

- Die Feuchtigkeitsverteilung innerhalb von Lebern wird homogener während Formalin-Lagerung.

- Lebern können bis zu zwei Jahre in Formalin gelagert werden, ohne daß dies einen signifikanten Einfluß auf deren Feuchtigkeitsgehalt hat.
- Mineral- und Spurenelementkonzentrationen von frischen und Formalin-gelagerten Lebern, die ausgedrückt sind basierend auf der Feuchtmasse, sind untereinander und miteinander direkt vergleichbar.

GERBIG (1992) fand bei 121 Stockentenlebern einen mittleren Trockenmassegehalt von 27,8 % der Frischmasse, was einem Feuchtigkeitsgehalt von 72,2 % entspricht. Die Spannweite der Trockenmassegehalte dieser Lebern lag zwischen 21,0 und 35,2 % der Frischmasse. Dies entspricht einer Feuchtigkeitsgehalts-Spannweite von 64,8 bis 79,0 % der Leber-Frischmasse.

2.3.2 Rohascheanteil von Knochen

Der Rohascheanteil von Knochen wird möglichst als % oder mg/kg fettfreier oder nicht fettfreier Knochen-Trockenmasse angegeben. Manche Autoren geben den Rohascheanteil der Knochen auch bezogen auf die Frischmasse dieser an. Andere wiederum geben ihn nur als % oder mg/kg an, ohne zu spezifizieren, auf was sich dieser Mengenanteil bezieht. In diesem Fall und bei Angabe des Anteils an der Frischmasse ohne den Trockenmasse- oder Feuchtigkeitsgehalt können die Werte nicht mit den auf die Knochen-Trockenmasse bezogenen verglichen werden. Allerdings können auch auf die fettfreie Knochen-Trockenmasse bezogene Werte ohne Kenntnis des Fettanteils nicht mit Werten verglichen werden, die sich auf die nicht fettfreie Knochen-Trockenmasse beziehen.

In Tabelle 20 sind die Textdaten nochmals als Übersicht aufgeführt. Die in Text und Tabelle zitierten Werte wurden der Übersichtlichkeit halber gerundet.

Einzig SCHEIDELER et al. (1994) beschreiben Rohascheanteile von Straußenknochen dreier verschiedener Altersgruppen. Bei der jüngsten Gruppe

von 21 Tieren im Alter von 3 bis 24 Wochen fanden sie im Tibiotarsus eine Spannweite des Rohascheanteils von 33,4 - 65,9 % in der fettfreien Trockenmasse (% ff TM). Bei den 8 juvenilen Straußen fanden sie eine Rohascheanteil-Spannweite von 58,9 - 66,3 % ff TM im Tibiotarsus. Die Spannweite der Rohascheanteile der 11 adulten Straußen lag zwischen 51,9 und 67,4 % ff TM im Tibiotarsus.

Bei 18 adulten Rheas ermittelten SCHEIDELER et al. (1996) folgende statistische Werte für den Rohascheanteil im Tibiotarsus: der Mittelwert lag bei 64,4 % ff TM und die Spannweite reichte von 62,9 bis 66,2 % ff TM.

PULS (1994) gibt für das Huhn eine Spannweite des Rohascheanteils der Knochen von 35 - 60 % an. Er gibt hierbei nicht an, ob sich dieser Wert auf die Frischmasse oder die fettfreie/nicht fettfreie Trockenmasse bezieht, und um welche Knochen es sich handelt. ATTEH UND LEESON (1984) geben für 3 Wochen alte Masthähnchen einen Mittelwert von 40,5 % Rohasche in der fettfreien Trockenmasse des Tibiotarsus an.

Das bei den Werten von PULS (1994) beim Huhn über die Einheitsdetails und die verwendeten Knochen Gesagte gilt auch für die im folgenden genannten Werte von Pute und Ente dieses Autors. Für die Pute schreibt er, daß der Rohascheanteil der Knochen über 40 % liegt, für die Ente nennt er eine Spannweite des Rohascheanteils von 35 bis über 50 % im Knochen.

GERBIG (1992) fand in den Tibiotarsi von 123 untersuchten Stockenten einen mittleren Rohascheanteil von 68 % der Frischmasse und eine Spannweite dieser Werte von 62,3 - 71,9 % der Frischmasse. GERBIG (1996) ermittelte aus 7 Tibiotarsi von Stockenten eine Spannweite des Rohascheanteils dieser Knochen von 67,1 - 69,8 % der Frischmasse.

Nach PULS (1994) liegt die Spannweite des Rohascheanteils in den Rippen von Rindern zwischen 57,8 - 62,7 %, wobei er wieder nicht sagt, ob sich diese Werte

auf die Frisch- oder die fettfreie/nicht fettfreie Trockenmasse beziehen. Für juvenile und adulte Schweine nennt PULS (1994) eine Spannweite des Rohascheanteils im Knochen von 40 - 70 % der fettfreien Trockenmasse. Dies sind Werte für den Femur, die von ihm angegebenen Wertespannweiten für Rippe, Humerus, Wirbel und Metakarpus liegen alle innerhalb der Spannweite der Femurwerte.

Tabelle 20: Rohascheanteile von Knochen nach Literaturangaben

Verwendete Abkürzungen siehe 2.2.1.1

Tierart Autor	Strauß (1)	Strauß (1)	Strauß (1)	Rhea (2)
Zahl Alter	21 3-24 Wo	8 juvenil	11 adult	18 adult
Verwendete Knochenprobe	Tibiotarsus	Tibiotarsus	Tibiotarsus	Tibiotarsus
% Rohasche in trockenem, fettfreiem Knochen				
\bar{x} (% ff TM)	--	--	--	64,4
R (% ff TM)	33,4-65,9	58,9-66,3	51,9-67,4	62,9-66,2
Literaturquellen: (1): SCHEIDELER et al. (1994) (2): SCHEIDELER et al. (1996)				

Tabelle 20, Fortsetzung: Rohascheanteile von Knochen nach Literaturangaben

Tierart Autor	Huhn (1)	Huhn (2)	Pute (1)	Ente (1)	S-Ente (3)	S-Ente (4)	Rind (1)	Schwein (1)
Zahl Alter	n.b. n.b.	n.b. 3 Wo	n.b. n.b.	n.b. n.b.	123 juvenil + adult	7 juvenil + adult	n.b. n.b.	n.b. juvenil + adult
Verwendete Knochenprobe	n.b.	Tibio- tarsus	n.b.	n.b.	Tibio- tarsus	Tibio- tarsus	Rippe	Femur
% Rohasche in trockenem, fettfreiem Knochen								
\bar{x} (% ff TM)	--	40,5	--	--	--	--	--	--
R (% ff TM)	--	--	--	--	--	--	--	40-70
% Rohasche im Knochen								
R (% *)	35-60	--	> 40	35 - > 50	--	--	57,8- 62,7	--
% Rohasche an der Knochen- Frischmasse								
\bar{x} (% FM)	--	--	--	--	68	--	--	--
R (% FM)	--	--	--	--	62,3- 71,9	67,1- 69,8	--	--
Literaturquellen: (1): PULS (1994) (2): ATTEH & LEESON (1984) (3): GERBIG (1992) (4): GERBIG (1996)				Ente = verschiedene Enten (<i>Anas</i> spp.) S-Ente = Stockente (<i>Anas platyrhynchos</i>) * = Autor (1) hat nicht angegeben, ob die Werte auf Feucht- oder fettfreie/nicht fettfreie Trockenmasse des Knochens bezogen sind				

2.4 Beinprobleme und -deformationen bei Straußen sowie teilweise bei anderen Ratiten und beim Geflügel

Das bisherige Wissen über Beinprobleme bei Straußen wird am besten von HUCHZERMEYER (1998) beschrieben: Er schreibt, daß die meisten der Beinprobleme multifaktoriell bedingt und noch nicht voll aufgeklärt sind. Dasselbe trifft auf Emus, Kasuare und Rheas zu. In erster Linie sind Küken im ersten Lebenshalbjahr betroffen.

Derselbe Autor unterteilt die Beinprobleme bei Straußenküken und anderen Ratiten nach den zu findenden Veränderungen in folgende Gruppen:

Splayed legs (gegrtschte Beine), twisted toes (verdrehte Zehen), tibiotarsal rotation (Tibiotarsus-Rotation), valgus rotation (Valgus-Rotation), slipped tendons (dislokierte Sehnen), osteomalacia (Osteomalazie), hypophosphataemic rickets (Hypophosphatämische Rachitis), clubbed feet (Klumpfuß) und shortened legs (verkürzte Beine).

Die Einteilung einiger anderer Autoren (BURGER, 1994; STEWART, 1994; DEEMING et al., 1996; MORE, 1996; SPEER, 1996) ist dieser ähnlich, weshalb bei der Besprechung der Beinprobleme in gleicher Weise verfahren werden soll. Zusätzlich werden noch zwei von HUCHZERMEYER (1994, 1995, 1998) vor allem in älteren Publikationen genannte, verbreitete Begriffe zur Beschreibung von Beinproblemen besprochen, das "Bow leg syndrome" und die "Enlarged hocks". Außerdem werden noch die von MORE (1996) aufgeführte "Hyperkeratosis of the footpad" (Hyperkeratose des Fußballens) und die von GILSLEIDER (1994) beschriebene "Osteochondrosis" (Osteochondrose) angeführt. Die beim Geflügel - namentlich bei Huhn, Pute und Ente - bedeutsame Tibiotarsale Dyschondroplasie wird ebenfalls angesprochen.

Die Häufigkeit des Auftretens von Beinproblemen und -deformationen zeigt deutliche Schwankungen:

- BEZUIDENHOUT und BURGER (1993) berichten, daß auf der "Oudtshoorn Experimental Farm" in Südafrika während 2 Brutsaisons von 1407 geschlüpften Straußenküken 89 im Alter zwischen 2 Wochen und 6 Monaten wegen Gliedmaßenverformungen getötet werden mußten. Dies entspricht einem Anteil von 6,3 %. Der Anteil lag während der ersten der untersuchten Brutsaisons bei 6,6 %, der während der zweiten bei 6,1 %. Von diesen 89 Küken zeigten 87 eine einseitige Deformation der rechten Gliedmaße, während nur 2 Küken eine einseitige Deformation der linken Gliedmaße hatten.

- FOGGIN (1992) schreibt, daß die Häufigkeit von Beinverformungen bei Straußenküken zwischen verschiedenen Farmen beachtlich schwankt und 30 % erreichen kann.

- MORE (1996) fand in der unter 2.7.3 näher beschriebenen Untersuchung über Straußenküken in Ost-Australien bei 98 von 394 Küken Beinverformungen, was einem Anteil von 24,9 % entspricht.

In Tabelle 21 wird eine kurze Übersicht der in 2.4 beschriebenen Krankheiten gegeben. Neben der Krankheitsbezeichnung sind Alter und Hauptlokalisation, sowie die (vermuteten) Ursachen und die gesichtete Literatur genannt. (Intertarsalgelenk = *Articulatio intertarsalis* bzw. *Articulatio tibiotarso-tarsometatarsalis*).

Tabelle 21: Bei Straußen und anderen Ratiten auftretende Beinverkrankungen

Bezeichnung der Krankheit	Auftreten der Krankheit -Alter -Lokalisation	(Vermutete) Ursache(n)	Literatur
2.4.1 Gegrätschte Beine	- erste Lebensstage - Coxofemoralgelenk, beidseitig	rutschiger Boden, großer Dottersack, Gelenksdeformation	HUCHZERMEYER (1998) STEWART (1994) SPEER (1996)

Tabelle 21, Fortsetzung: Bei Straußen und anderen Ratiten auftretende Bein- und Krümmungskrankungen

Bezeichnung	Auftreten der Krkh.	Ursache(n)	Literatur
2.4.2 Verdrehte Zehen	- direkt nach dem Schlupf - mediale Zehe nach a) medial gedreht b) lateral gedreht	Ernährung, genetisch, schwacher Muskeltonus a) Riboflavinmangel der Straußenhenne b) glatter Boden	HUCHZERMAYER (1998) DICK & DEEMING (1996) DEEMING et al. (1996)
2.4.3 Unterschenkel- drehung / Tibiotarsus- Rotation	- 2-10 Wochen, bis zu 6 Monate, auch unter 2 Wochen - distale Tibiotarsushälfte, meist das rechte Bein betroffen, zum Teil das linke oder auch beide Beine	Verschiedene Faktoren: mechanisch (Kicken zum Aufbrechen der Eischale, Stolpern, hohes Körpergewicht, hohe Tierdichte, Zugkraft der ansetzenden Muskeln, Bewegungsmangel), Ernährungsmängel: Küken und Henne (Ca, P, Zn, Cu, Mn, Vitamine, Vit. D ₃ , hohe Wachstumsrate), genetisch, infektiös (Malabsorption im Magen-Darmtrakt: Viren, Bakterien, Protozoen)	MORE (1996) BEZUIDENHOUT & BURGER (1993) HUCHZERMAYER (1998) FOGGIN (1992) DEEMING et al. (1996) DICK & DEEMING (1996) GUITTIN (1986) BEZUIDENHOUT et al. (1994) SCHEIDELER et al. (1994) FRANK & CARPENTER (1992) BURGER (1994) A.J. OLIVIER, 1998, persönliche Mitteilung
2.4.4 Valgus- Rotation	- erste 6 Monate - Intertarsalgelenk und Tarsometatarsus	schnelles Wachstum, Gewichtsverteilung, Wachstumsfugentrauma, Ernährung	HUCHZERMAYER (1998) GILSLIDER (1994)
2.4.5 Dislokierte Sehnen	- 2-4 Monate - Gastrocnemius-Sehne, meist links	Manganmangel, primär oder sekundär	HUCHZERMAYER (1998) DICK & DEEMING (1996) BURGER (1994)
2.4.6 Osteomalazie	- 2-8 Wochen - weiche Knochen (Beine, Schnabel)	ungenügender Ca- oder P-Anteil im Futter	HUCHZERMAYER (1998) COOPER & GIMBI (1994a,b)
2.4.7 Hypophosphatämische Rachitis	- erste 3 Monate - Gelenkvergrößerung und weiche Beinknochen (Tibiotarsus) und Schnäbel	P-Mangel, alimentär, Unausgewogenheit im Ca-, P- oder Vitamin D ₃ -Stoffwechsel und im Futter, Malabsorption	SPEER (1996) SHIVAPRASAD (1993) ANGEL et al. (1995, 1996)

Tabelle 21, Fortsetzung: Bei Straußen und anderen Ratiten auftretende Beinerkrankungen

Bezeichnung	Auftreten der Krkh.	Ursache(n)	Literatur
2.4.8 Klumpfuß	- ab Lebensbeginn - Zehe, einseitig	bislang unbekannt	HUCHZERMAYER (1998) MORE (1996)
2.4.9 Verkürzte Beine	- ab Lebensbeginn - Beinknochen, beidseitig	genetischer Defekt	HUCHZERMAYER (1998)
2.4.10 Syndrom gebogener Beine	- 1-2 Monate - Intertarsalgelenk, Deformationen und Vergrößerungen an Tarsometatarsus, auch Tibiotarsus, oft beidseitig	Ca:P-Verhältnis im Futter, Störung oder Malabsorption im Ca-, P-, Vitamin D- und Spurenelement- Stoffwechsel, schnelles Wachstum, Streß, Bewegungsmangel, genetisch	HUCHZERMAYER (1994, 1995, 1998) GUITTIN (1986) WADE (1992) FOGGIN (1992) MORE (1996)
2.4.11 Vergrößerte Fersen	- Küken/Jungtiere - Vergrößerung des Fersenbereichs, Intertarsalgelenk	Futterzusammen- setzung, metabolisch, (Zn-Mangel beim Hausgeflügel)	HUCHZERMAYER (1994, 1998) AUSTIC & SCOTT (1991) MORE (1996) BURGER (1994)
2.4.12 Osteochon- drose	- bis 3 Wochen - persistierende Knorpelsäulen in Beinknochen	bei Ratiten physiologisch!? falls pathologisch: bislang unbekannt	GILSLEIDER (1994) REECE & BUTLER (1984) HOPKINS (1993)
2.4.13 Hyperkera- tose der Fußballen	- 2-6 Wochen - ventral/lateral an Zehenballen, Schnabel, Augenlid	kein Sonnenlicht, keine Aufnahme von eigenem Kot, Zinkmangel, infektiöse Dermatitis	WADE (1992) More (1996) AUSTIC & SCOTT (1991) A.J. OLIVIER, 1998, persönliche Mitteilung
2.4.14 Zehenabszes- se	- jedes Alter - Sohle der Hauptzehe	infizierte Wunden	HUCHZERMAYER (1998)
2.4.15 Tibiotarsale Dyschondro- plasie (Haus- geflügel, nicht bei Ratiten!)	- 3-8 Wochen - Intertarsalgelenk, Tibiotarsus, Tarsometatarsus, beidseitig	Genetische Selektion, gestörtes Kat-/Anionen- Verhältnis, Wachstumsrate, schlechte Blutversor- gung der Metaphyse	RIDDELL (1981)

2.4.1 Gegrätschte Beine (Splayed legs, Spraddle legs)

Nach dem Schlupf und während der ersten Lebenstage haben die Straußenküken noch keine volle Kontrolle ihrer Beine, was bei glatten, rutschigen Böden zu dem Ausgrätschen beider Beine führen kann. Manche schwache Küken grätschen auch ohne Grund aus oder ein sehr großer Dottersack spreizt die Füße voneinander (HUCHZERMEYER, 1998).

STEWART (1994) beschreibt "Spraddle legs" als eine Erkrankung von Ratitenküken, die durch eine Deformation im Coxofemoralgelenk verursacht wird und so eine normale Adduktion der Gliedmaßen verhindert. Diese Erkrankung äußert sich darin, daß beide Beine direkt nach lateral zeigen, was dazu führt, daß die Küken völlig unfähig sind, aufzustehen. Dieselben Küken haben meist auch Unterhautödeme.

SPEER (1996) fügt dem von STEWART (1994) Gesagten hinzu, daß die Erkrankung sich normalerweise beidseitig und symmetrisch äußert, und daß beim Schlupf ödematöse Küken vermutlich mehr prädisponiert sind, auszugrätschen, als normale Küken.

Die Küken können sich bei rechtzeitiger Behandlung erholen. Meist geschieht das durch Zusammenbinden der Beine mit Hilfe einer Schlinge (HUCHZERMEYER, 1998).

2.4.2 Verdrehte Zehen (Twisted, rolled oder curled toes)

Die bei Straußenküken direkt nach dem Schlüpfen auftretenden, nach innen verdrehten, medial zeigenden Zehen werden auf Ernährungsmängel der Straußenhenne zurückgeführt. Riboflavinmangel wird sowohl bei Straußen als auch bei anderen Vögeln als Ursache hierfür betrachtet. Nach außen verdrehte Zehen sollen eine Haltung auf zu glattem Boden als Ursache haben. Diese

Aufteilung wird aber nicht unbedingt als zwingend erachtet (HUCHZERMEYER, 1998).

In der von DICK und DEEMING (1996) durchgeführten Studie (siehe 2.4.3) korrigierten sich verdrehte Zehen in über 95 % der Fälle innerhalb von 4 Wochen nach dem Schlüpfen spontan selbst. War aber ein Stadium erreicht, in welchem die Zehenknochen in sich verdreht waren, blieb die Deformation bestehen. Die Häufigkeit des Auftretens verdrehter Zehen schwankte von 0 bis zu 25 % der Küken in einigen Gruppen.

DEEMING et al. (1996) fügen dem von DICK und DEEMING (1996) Gesagten hinzu, daß die Ursachen für verdrehte Zehen bislang noch unbekannt sind. Es werden aber verschiedene Faktoren, wie zum Beispiel Ernährungsmängel und genetische Faktoren, als Ursachen vermutet. Es könne auch möglich sein, daß ein zu schwacher Muskeltonus in der Oberschenkelmuskulatur die Zehe nicht in der richtigen Position halten kann. Möglicherweise könnte die Bewegung des Tieres dann den Muskeltonus erhöhen und die Zehe wieder in die richtige Position bringen.

Verdrehte Zehen führen, selbst wenn sie bestehen bleiben, normalerweise nicht zum Verlust des Tieres.

2.4.3 Unterschenkeldrehung / Tibiotarsus-Rotation (Tibiotarsal rotation, Twisted legs)

Die Rotation oder Verdrehung des Tibiotarsus in sich ist mit Abstand das häufigste Gliedmaßenproblem bei Straußenküken (MORE, 1996).

Hierbei ist meist das rechte Bein betroffen, es können aber auch beide Beine oder nur das linke betroffen sein. Es findet in der Regel eine Rotation um die Längsachse innerhalb der distalen Tibiotarsushälfte um 40-90° nach außen statt.

Infolgedessen zeigen Tarsometatarsus und Zehen nach außen. Die betroffenen Tiere haben Schwierigkeiten, zu stehen und verletzen sich bei ihren Aufstehversuchen sehr oft im Bereich des Fersengelenks, wo sich dann sehr leicht Infektionen in Haut und Unterhaut oder auch im Gelenk selbst manifestieren können (BEZUIDENHOUT & BURGER, 1993; HUCHZERMEYER, 1998).

FOGGIN (1992) fand bei den meisten von ihm in Zimbabwe beobachteten Fällen von Tibiotarsus-Rotation gleichzeitig eine Asymmetrie der Thoraxwand, wobei die Seite mit der Beindeformation konvexer war als die andere. Skoliose wurde ebenfalls manchmal gefunden.

Betroffen sind nach BEZUIDENHOUT und BURGER (1993) hauptsächlich Straußenküken im Alter zwischen 2 Wochen und 6 Monaten.

DEEMING et al. (1996) schreiben, daß viele Fälle von Tibiotarsus-Rotation in den ersten 14-21 Tagen nach dem Schlüpfen auftreten. Sie schreiben aber weiter, daß diese Veränderungen auch bei deutlich älteren Tieren vorkommen, besonders unter überfüllten Haltungsbedingungen.

Die Ursachen dieser Erkrankung sind vielfältig und von mechanischen, ernährungstechnischen, genetischen und infektiösen Faktoren beeinflusst, wobei nicht alle Faktoren zur Krankheitsauslösung vorhanden sein müssen (HUCHZERMEYER, 1998).

Als erstes mechanisches Trauma, das die Voraussetzung für die spätere Deformation bildet, wird zum Teil das Kicken zum Aufbrechen der Eischale beim Schlupf vermutet. Dies geschieht beim Straußenküken mit dem rechten Bein, demselben, welches nachher in der Regel überwiegend von der Rotation des Tibiotarsus betroffen ist. Weitere die Rotation auslösende oder hierzu beitragende Traumata sind das Fallen über Futter- und Wassertröge und das Hängenbleiben in zu lang gelassener Luzerne oder Gras, auf denen die Küken weiden. Ein relativ

hohes Körpergewicht aufgrund zu hoher Wachstumsrate (siehe unten) und die Zugkraft der am Tibiotarsus ansetzenden Muskeln im Vergleich zur noch relativ schwachen Struktur des jungen Knochens sind weitere Faktoren (HUCHZERMEYER, 1998).

GUITTIN (1986) sieht Bewegungsmangel bei Küken als einen der auslösenden Faktoren an, da die Küken dadurch ihre Beinmuskeln und -gelenke nicht genügend trainieren bzw. benutzen. Dies kann zu einer generellen Gliedmaßenschwäche führen und Deformationen können sich manifestieren.

In gefährdeten Beständen wird eine zu hohe Proteinaufnahme und ein daraus folgendes zu schnelles Wachstum als ein Ernährungsfehler angesehen. Eine hohe Wachstumsrate muß aber nicht unbedingt zu einer Tibiotarsus-Rotation führen. Den wichtigsten Faktor in der Ernährung stellt sicherlich ein ausgewogener und ausgeglichener Anteil an Mengen- und Spurenelementen, sowie Vitaminen in der Futterration dar. Kalzium, Phosphor, Zink, Kupfer und Mangan, ebenso wie Vitamin D₃ werden bisher als die für eine normale Knochenentwicklung wichtigsten Elemente und Vitamine angesehen. Ein Mangel oder Imbalancen eines oder mehrerer dieser kann sehr leicht zu Beindefformationen und speziell zur Tibiotarsus-Rotation führen. Dies wird durch eine hohe Wachstumsrate der Küken noch verstärkt (HUCHZERMEYER, 1998).

BEZUIDENHOUT et al. (1994) untersuchten Mengen- und Spurenelementwerte bei 20 Straußenküken, die im Alter von 4-8 Wochen eine Tibiotarsus-Rotation entwickelt hatten, im Vergleich zu 8 gesunden Straußenküken desselben Alters und aus der gleichen Gruppe, die keine Symptome entwickelt hatten. Ca-, P-, Mg-, Zn-, Cu- und Mn-Werte wurden in Serum und Knochen ermittelt. Die Zn-Serumwerte der erkrankten Küken waren signifikant höher (Konfidenzintervall $\geq 0,95$) als die der gesunden. Dagegen waren die Ca- und P-Knochenwerte der erkrankten Küken signifikant niedriger (Konfidenzintervall $\geq 0,95$) als die der

gesund. Bei den restlichen Serum- und Knochenwerten wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

Allerdings sind noch einige andere außer den gerade genannten Elementen am physiologischen Knochenwachstum und der Knochenstruktur beteiligt. Hierbei handelt es sich um Magnesium, Eisen, Chrom, Silizium, Fluor, Natrium, Chlor und vermutlich weitere, deren Funktionen unter 2.1 näher beschrieben sind.

Ein unausgeglichener Mengen- und Spurenelementanteil im Futter der Straußenhenne kann durch dessen Übertragung auf das Ei und damit Embryo und Küken die Voraussetzung für einen frühen Mangel des Kükens sein. Dies kann schon ausreichen, um das Küken für das erste Trauma beim Aufbrechen der Schale empfänglich zu machen (HUCHZERMEYER, 1998).

Mangelercheinungen während der ersten zwei Lebenswochen können ebenfalls darauf zurückgeführt werden, da sich das Straußenküken während der ersten 7-10 Lebenstage hauptsächlich von den im Dottersack befindlichen Nährstoffen ernährt.

So wurden von SCHEIDELER et al. (1994) deutlich höhere Cu-Werte in der Leber von Embryonen und frisch geschlüpften Küken im Alter bis zu zwei Wochen gefunden als bei Küken im Alter von 3 Wochen und mehr (Werte siehe 2.1). Dies könnte darauf hindeuten, daß die Küken natürlicherweise mit einem Cu-Depot in der Leber ausgestattet sind, um die Zeit abzudecken, bis sie sich in ausreichendem Maße selbst ernähren können. Leber-Kupferwerte von Neugeborenen werden von den Autoren als gute Indikatoren für eine ausreichende Cu-Versorgung der Elterntiere angesehen.

Auf eine beteiligte genetische Prädisposition durch die Elterntiere deutet die Tatsache hin, daß bei Küken bestimmter Brutpaare der Anteil der an einer Tibiotarsus-Rotation erkrankten Küken höher ist als der Farmdurchschnitt (HUCHZERMEYER, 1998).

BEZUIDENHOUT und BURGER (1993) erwähnen, daß in ihrer Untersuchung 35 der 67 Brutpaare Küken mit Beindefformationen erzeugten. Hierbei kamen zwischen 1 und 9 deformierte Küken je Brutpaar vor.

Magen-Darmtrakt-Infektionen können eine Malabsorption verschiedener Mengen- und Spurenelemente und Vitamine verursachen, was dann - trotz einer ausreichenden Zuführung dieser Stoffe über das Futter - zu einem sekundären Mangel führen kann. Hierbei beteiligte Erreger können Viren, Bakterien und/oder Protozoen sein, die oft in diversen Kombinationen auftreten. HUCHZERMEYER (1998) zählt hierzu Paramyxo-, Corona-, Reo-, Retro- und Gumboroviren, sowie das Virus der Aviären Influenza. Außerdem rechnet er die Gram-negativen Bakterien (Salmonellen und andere Enterobakterien), Clostridien und *Campylobacter jejuni*, sowie Kryptosporidien dazu.

FRANK und CARPENTER (1992) fanden bei einem 10 Tage alten Straußenküken mit Coronavirus-Enteritis ein verdicktes Periost des proximalen Tibiotarsus mit einer dünnen, nur teilweise mineralisierten Knochenrinde. Die Autoren zählten die durch die Virusinfektion bedingte Anorexie und Malabsorption zu den Ursachen der Beindefformation.

Über die Häufigkeit des Auftretens der Tibiotarsus-Rotation sind wenige Angaben in der Literatur vorhanden. Es kann aber, je nach Farm, Saison und Kükengruppe, von einem prozentualen Anteil von 0-10 % in dieser Weise erkrankter Straußenküken ausgegangen werden. Dieser Anteil kann allerdings sehr schnell auf 20-30 % oder sogar höher ansteigen.

DEEMING et al. (1996) schreiben, daß die Tibiotarsus-Rotation 5-10 % der Kükenpopulation betreffen kann, daß sie aber auch einerseits bei 0 % liegen oder andererseits ein deutlich größeres Problem darstellen kann.

MORE (1996) fand bei einer Gesamtzahl von 394 Straußenküken im Alter unter 4 Monaten auf 11 Farmen in Ost-Australien 68 Küken, die eine Tibiotarsus-Rotation entwickelten. Dies entspricht einem prozentualen Anteil von 17,3 % aller Küken. Bei diesen 68 Küken war in nur 26 Fällen die rechte Gliedmaße betroffen, während die linke Gliedmaße bei 42 Küken betroffen war. Diese Beobachtung steht im Gegensatz zu allen anderen bisherigen Aussagen zur rechts-links-Verteilung der Tibiotarsus-Rotation bei Straußen. Die einheitliche Meinung anderer Autoren (BEZUIDENHOUT & BURGER, 1993; BURGER, 1994; HUCHZERMEYER, 1998) ist, daß die überwiegende Mehrheit der Fälle von Tibiotarsus-Rotation am rechten Bein gesehen wird. Als ein möglicher Grund hierfür wurde weiter oben das Kicken der Küken mit dem rechten Bein zum Aufbrechen der Eischale beim Schlupf genannt.

Der Anteil der infolge einer Tibiotarsus-Rotation gestorbenen Küken an der Gesamtzahl der gestorbenen Küken lag bei MORE (1996) sogar bei 35,6 %. Der Gesamtanteil der an den verschiedenen Gliedmaßendeformationen der Beine gestorbenen Küken an der Zahl der gestorbenen Küken lag in dieser Untersuchung bei 46,6 %. Die Erstbeobachtungen von Fällen von Tibiotarsus-Rotation wurden über den gesamten Beobachtungszeitraum von 16 Wochen gemacht, wobei das Hauptauftreten dieser Erkrankung im Alter zwischen 2 und 10 Wochen stattfand. Die mittlere Überlebenszeit (ÜZ) von Küken nach Diagnostizierung einer Tibiotarsus-Rotation war 10 Tage. Es wurde eine signifikante Differenz in der Überlebenszeit nach Manifestation der Tibiotarsus-Rotation beobachtet zwischen Küken, die älter als 60 Tage waren (ÜZ durchschnittlich 14,5 Tage), und Küken, die 60 Tage alt oder jünger waren (ÜZ durchschnittlich 7 Tage). Von den 68 Küken mit diagnostizierter Tibiotarsus-Rotation starben zwei, 50 wurden getötet und 16 überlebten - zumindest bis zum Alter von 4 Monaten oder bis zu einem etwaigen Verkauf bzw. Verbringen in einen anderen Betrieb vor Ablauf dieser Zeit. Hieran kann gesehen werden, daß die Überlebensrate beim Auftreten einer Tibiotarsus-Rotation nicht sehr hoch ist, zudem bei den gerade genannten überlebenden Küken höchstwahrscheinlich mit einigen weiteren Verlusten nach Ablauf des dokumentierten Beobachtungszeitraums der ersten 4 Lebensmonate zu rechnen ist.

DICK und DEEMING (1996) untersuchten "einige hundert" Strauße unterschiedlichen Alters in Großbritannien über einen Zeitraum von 5 Jahren. Sie fanden 5 % der Küken von einer Tibiotarsus-Rotation betroffen, wobei diese entweder unter dem Alter von 14 Tagen oder über dem Alter von 6 Wochen auftrat.

In Südafrika tritt die Tibiotarsus-Rotation bei Straußenküken meist in folgendem zeitlichen Rahmen auf: Den Beginn stellt ein plötzlich auftretendes Lahmen dar, das innerhalb von 24 Stunden deutlich sichtbar ist. In einer Zeitspanne von 2-3 Tagen ist die Rotation erkennbar, die innerhalb einer Woche nach Auftreten der ersten Lahmheitszeichen deutlich ausgeprägt ist. Bei den meisten Küken kommt es in einem Zeitraum von 1-3 Wochen nach Auftreten der ersten Symptome zum Festliegen. Danach verenden sie meist innerhalb weiterer 1-2 Wochen an Schwäche, bedingt durch eingeschränkte Futteraufnahme, oder an Sekundärinfektionen (A.J. OLIVIER, persönliche Mitteilung, 1998).

Die Verluste durch Tibiotarsus-Rotationen bei Straußenküken stellen einen bedeutenden Faktor beim Erfolg in der Kükenaufzucht dar.

2.4.4 Valgus-Rotation (Valgus rotation)

Die Valgus-Rotation besteht aus einer Rotation im Intertarsalgelenk und im Tarsometatarsus selbst, was wiederum zu einer Auswärtsdrehung des distalen Tarsometatarsus und der Zehen führt. Die Ursache ist unbekannt. Diese Veränderung ist viel seltener als die Tibiotarsus-Rotation (HUCHZERMEYER, 1998).

GILSLEIDER (1994) beschreibt einen tarsalen Valgus (tarsal valgus), als dessen Ursache er ein zu schnelles Wachstum, ungleiche Gewichtsverteilung des Körpers aufgrund von Schmerzen im anderen Bein, ein Trauma der Wachstumsfuge und eine unzureichende Ernährung ansieht.

2.4.5 Dislokierte Sehnen (Slipped tendons)

Hierbei handelt es sich um eine Dislokation der Gastrocnemius-Sehne von den Kondylen des Fersengelenks (Intertarsalgelenks) in Form eines Abrutschens der Sehne nach lateral. Durch die Aufstehversuche der festliegenden Tiere können sehr leicht offene Wunden am Fersengelenk entstehen und es kommt oft zu Infektionen desselben und der Gastrocnemius-Sehne/-Sehnenscheide (HUCHZERMEYER, 1998).

DICK und DEEMING (1996) berichten von einer Häufigkeit von 10 % in einer Gruppe von 2-4 Monate alten Straußenküken. Die Dislokationen waren einseitig und nach lateral, wobei auch im anderen Bein pathologische Veränderungen gefunden wurden. Der Unterschied zur beim Geflügel gefundenen Perosis, welche auf einen Mangan-Mangel zurückgeführt wird, liegt darin, daß beim Geflügel die Dislokation der Gastrocnemius-Sehne nach medial stattfindet, während sie beim Strauß nach lateral dislokiert (DICK & DEEMING, 1996).

BURGER (1994) schreibt, daß Perosis oder Slipped Tendon normalerweise einseitig am linken Bein auftritt und nimmt Manganmangel als Ursache an. Dieser kann primär sein oder einen sekundären Mangel darstellen, der Folge eines überhöhten Ca-Gehalts in Pflanzen, Wasser oder Futter ist, was zur Malabsorption von Mangan und Zink führt.

2.4.6 Osteomalazie (Osteomalacia)

Osteomalazie beim Strauß äußert sich in einer Entwicklung weicher Knochen, die zu Verbiegungen oder Frakturen tendieren. Ein ungenügender Ca- oder P-Anteil im Futter wird dafür verantwortlich gemacht. Betroffene Tiere können meist durch ihre leicht deformierbaren Schnäbel ("rubber beaks") erkannt werden (HUCHZERMEYER, 1998).

COOPER und GIMBI (1994a,b) beobachteten auf einer Farm in Tanzania bei fast 50 von 90 Straußenküken im Alter von 2-8 Wochen über einen Zeitraum von 3 Monaten einen taumelnden Gang oder Festliegen, außerdem Unfähigkeit, den Kopf zu heben, Zittern bei Bewegung des Kopfes und Anorexie. In der Mehrzahl der Fälle wurden weiche, biegsame Knochen gefunden, Frakturen wurden ebenfalls gesehen. Vier Tiere wurden radiologisch untersucht, hier zeigten sich eine geringe Knochendichte, eine dünne Knochenrinde und Frakturen. Auch hier wurden weiche Knochen bei der postmortalen Untersuchung gefunden. Als Ursache wurde ein Kalziummangel durch einen zu geringen Ca-Anteil (und auch P-Anteil) im Futter diagnostiziert. Die Futteranalyse hatte einen Ca-Gehalt von 0,88 % und einen P-Gehalt von 0,39 % ergeben. Bei diesem Futter handelte es sich um Masthähnchenfutter, das die Straußenküken zusammen mit Weidegang auf natürlichem Bewuchs erhielten.

2.4.7 Hypophosphatämische Rachitis (Hypophosphataemic rickets)

SPEER (1996) definiert Rachitis als eine pädiatrische Erkrankung, die durch einen alimentären Mangel oder eine Unausgewogenheit im Ca-, P- oder Vitamin D₃-Stoffwechsel oder infolge einer Malabsorption dieser Nährstoffe ausgelöst wird. Die absolute Menge ebenso wie der Anteil im Futter sind in Bezug auf die Auslösung von Rachitis wichtig. Die durch die genannten Mängel in der Nährstoffversorgung ausgelöste Rachitis ist charakterisiert durch eine Verbreiterung des Epiphysenknorpels und einen verminderten Aufbau von Knochenmatrix. Die Knochen werden weich und biegsam, was zu Bewegungsunwillen führt. Eine deutliche Gelenkvergrößerung findet statt und die langen Beinknochen (Femur, Tibiotarsus, Tarsometatarsus) verbiegen sich.

SHIVAPRASAD (1993) beschreibt Rachitis bzw. weiche Knochen in einigen wenigen Fällen als Ursache für neonatale Mortalität bei Straußenküken im ersten Lebensquartal. Diese Rachitis wurde zusammen mit einer Verbreiterung der "Hypertrophiezone" in den Wachstumsfugen der langen Knochen gesehen und

wurden als Folge eines Phosphormangels angesehen. Der Autor nennt als weitere Ursachen von Rachitis bei Geflügel Kalzium- oder Vitamin D₃-Mangel, ein falsches Ca:P-Verhältnis im Futter und eine Malabsorption aufgrund von infektiös bedingter Enteritis.

Hypophosphatämische Rachitis wird bei Rheas auch als "Rubber rhea syndrome" bezeichnet. ANGEL et al. (1995, 1996) untersuchten 1994 einen Ausbruch von "Rubber rhea syndrome" in einigen Staaten der USA. Die Rheaküken wurden lustlos, wollten sich nicht mehr bewegen und entwickelten bald darauf im Alter von 3-4 Wochen Beindefformationen. Ihr Zustand wurde besser und wieder schlechter, bis sie im Alter von 6-8 Wochen starben. Es wurden weiche, biegsame Schnäbel und eine Vergrößerung des proximalen Tibiotarsus gefunden. Außerdem Verbiegung des Tibiotarsus, Biegsamkeit der langen Knochen, kollabierte Brustkörbe und eine generalisierte Erosion der Koilinschicht des Muskelmagens. Die Tiere hatten im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe einen verminderten Knochenaschegehalt und verminderte Serum-Phosphorwerte. Die Serumwerte des Vitamin D₃-Metaboliten 25-Hydroxycholecalciferol wurden im Vergleich zu den Kontrolltieren als ähnlich angesehen. Die Serumwerte des aktiven Vitamin D₃-Metaboliten 1,25-Dihydroxycholecalciferol hingegen waren in den erkrankten Tieren doppelt so hoch als in den gesunden. Als Ursache des Ausbruchs wurde ein Phosphormangel vermutet, oder ein Kalziumüberschuß (und damit eine unausgeglichenes Ca:P-Verhältnis mit einem sekundären Phosphormangel).

2.4.8 Klumpfuß (Clubbed feet)

Beim Klumpfuß handelt es sich um eine Verdickung des gesamten, den Boden berührenden Zehenbereichs eines Fußes. Die Ursache für Klumpfüße ist unbekannt, sie führen normalerweise nicht zum Verlust des Tieres.

HUCHZERMEYER (1998) erwähnt einen einzigen Fall eines Straußenküken mit einem Klumpfuß, der am Onderstepoort Veterinary Institute (Onderstepoort, Republik Südafrika) gesehen wurde.

MORE (1996) fand bei der unter 2.4.3 beschriebenen Untersuchung bei 9 der erfaßten 394 Straußenküken einen Klumpfuß, was einem Anteil von 2,3 % entspricht.

2.4.9 Verkürzte Beine (Shortened legs)

Von Zeit zu Zeit werden Straußenküken mit verkürzten Beinen gesehen, die sich ansonsten völlig normal entwickeln. Dies wird als ein genetischer Defekt angesehen (HUCHZERMEYER, 1998).

2.4.10 Syndrom gebogener Beine (Bow leg syndrome, Leg bowing)

Je nach Autor wird der Begriff des "Bow leg syndrome" als eine generelle Bezeichnung für Beindefformationen bei Ratiten oder zur Beschreibung einer spezifischen Beindefformation verwendet.

HUCHZERMEYER (1994, 1998) nennt das "Bow leg syndrome" als einen Begriff, um verschiedene Beindefformationen zu beschreiben.

HUCHZERMEYER (1995) beschreibt als "Bow leg syndrome" eine Kombination verschiedener, weiter oben unter anderen Namen genannter Veränderungen: Bei Straußenküken ab einem Alter von 3 Wochen kann es zur Auswärtsrotation einer oder beider Beine im Intertarsalgelenk kommen (Tibiotarsus-Rotation). Dies kann begleitet sein von einer Gelenksverdickung und einer Verbiegung des Tarsometatarsus. Zum Teil kann sich auch noch die große Zehe nach auswärts drehen, so daß die Zehe den Boden mit ihrer medialen Seite berührt. Bei erkrankten Tieren wird oft ein vertauschtes Verhältnis der Ca- und P-Serumwerte gefunden. Als mögliche Ursachen nennt er eine unausgeglichenes Ca:P-Verhältnis im Futter, eine Störung des Ca-Metabolismus, Malabsorption und Imbalance der Spurenelemente, Vitaminmangel, eine zu schnelles Wachstum, einen zu hohen Proteinanteil im Futter, Streß, Bewegungsmangel und genetische Faktoren.

GUITTIN (1986) führt unter dem Begriff des "Bow leg syndrome" sowohl Symptome der Tibiotarsus-Rotation, als auch des "Bow leg syndrome" selbst an. Zu letzterem zuzuordnen sind seine Beschreibung von ein bis zwei Monate alten Straußen- und Rheaküken, bei denen eine Biegung des Tarsometatarsus beobachtet wurde. Außerdem zeigten sie eine bulböse und entzündete Vergrößerung des proximalen Tarsometatarsus und persistierende Lahmheit. Zusammen mit diesen Symptomen wurde konstant eine Entzündung des Intertarsalgelenks gefunden. Der Autor sah die Hauptursachen für die von ihm beschriebenen Veränderungen in einem nicht ausgeglichenen Ca-Metabolismus, der zu einem Ca-Mangel führte, zusammen mit einer zu schnellen Gewichtszunahme (zu energiereiche Futterration) und Bewegungsmangel.

Laut WADE (1992) kommen sowohl Valgus-(nach außen), als auch Varus-(nach innen) Deformationen vor, die meistens am proximalen Tarsometatarsus gesehen werden. Die Ursache soll eine Störung des Ca- oder Vitamin D-Metabolismus sein.

FOGGIN (1992) beschreibt ein Syndrom, das durch eine Biegung des Knochenschafts von Tibiotarsus und Tarsometatarsus nach lateral oder nach vorne/hinten charakterisiert ist und oft beidseitig vorliegt. Normalerweise tritt es bei älteren Küken ohne weitere Veränderungen auf, es kann aber auch eine Rotation mit dabei vorliegen. Die Knochendichte ist normal, eine makroskopische Hyperplasie der Nebenschilddrüse wird gesehen. Vermutet wird, daß Störungen im Ca/P-Verhältnis des Körpers eine Rolle spielen.

MORE (1996) fand in der unter 2.4.3 beschriebenen Studie 11 Straußenküken mit "Leg bowing" aus einer Gesamtheit von 394 Küken. Dies entspricht einem Anteil von 2,8 %. Von diesen 11 Tieren wurden 5 getötet, 6 überlebten zumindest bis zum Alter von 4 Monaten, falls sie nicht vorher verkauft bzw. in einen anderen Betrieb gebracht wurden.

Ein Auftreten von Leg bowing muß nicht automatisch den Verlust des Tieres bedeuten, die Verluste sind aber deutlich höher als beispielsweise bei verdrehten Zehen.

2.4.11 Vergrößerte Fersen (Enlarged hocks, Swollen hock joint)

Hierunter versteht man eine Vergrößerung des Fersenbereichs, die auf einer Entzündung des Unterhautbindegewebes und/oder des Fersengelenks (Intertarsalgelenks) beruht. Diese Veränderungen werden oft im Laufe progressiver Tibiotarsus-Rotationen gesehen, da die Küken sich bei ihren Aufstehversuchen im Fersenbereich verletzen und sich Infektionen manifestieren können (HUCHZERMEYER, 1998). Zusätzlich kann es dabei noch zu einem Abrutschen der Gastrocnemius-Sehne nach lateral kommen.

AUSTIC und SCOTT (1991) nennen "Enlarged hocks" als eine mögliche Folge von Zinkmangel beim Geflügel.

MORE (1996) fand in der unter 2.4.3 genannten Untersuchung ein Straußenküken mit einem "Swollen hock joint" unter 394 erfaßten Küken, was einem Anteil von 0,3 % entspricht.

BURGER (1994) und HUCHZERMEYER (1994) nennen "Enlarged hocks" als eine Form der Beinveränderungen, die bei jungen Straußen gefunden werden. BURGER (1994) zählt die "Enlarged hocks" zu den metabolischen Knochenerkrankungen, die möglicherweise die Folge einer unausgeglichene Futterzusammensetzung sind.

2.4.12 Osteochondrose (Osteochondrosis)

GILSLEIDER (1994) vertritt die Meinung, daß Osteochondrosen bei schnell wachsenden Ratiten vorkommen. Er hat Osteochondrosen in allen Beingelenken

von Strauß und Emu, einschließlich der beiden proximalen Zehengelenke gefunden. Betroffen waren Küken jeden Alters. Wahrscheinlich beruht diese Ansicht auf einer Fehlinterpretation der länger als beim Huhn persistierenden Knorpelsäulen bei Straußenküken, was beim Huhn als pathologisch angesehen werden müßte (REECE & BUTLER, 1984). Hierzu siehe auch 2.4.15.

Osteochondrose wird definiert als eine Störung in der Zelldifferenzierung im wachsenden Knorpel mit einer dadurch ausbleibenden enchondralen Verknöcherung und persistierendem hypertrophiertem Knorpel (HOPKINS, 1993).

2.4.13 Hyperkeratose der Fußballen (Hyperkeratosis of the footpad)

Die Hyperkeratose der Fußballen wird zwar von einem Autor genannt, ihr Erscheinungsbild beim Strauß wird aber nicht näher beschrieben.

WADE (1992) beschreibt eine meist durch Bakterien oder Pilze ausgelöste infektiöse Dermatitis der Haut oder der Fußballen, die zu Lahmheit führen kann und normalerweise mit einer Hyperkeratose dieser Hautpartien einhergeht.

MORE (1996) stellte diese Veränderung bei 3 der 394 von ihm erfaßten Straußenküken fest, dies entspricht 0,8 % der Tiere.

AUSTIC und SCOTT (1991) führen beim Geflügel als eine der Folgen von Zinkmangel eine histologisch sichtbare Hyperkeratose der Haut am Fuß an. Diese wird zusammen mit makroskopischer Schuppung der Haut und Dermatitis gefunden, die besonders an den Füßen auftritt.

Hyperkeratosen traten in Südafrika bei einer Gruppe von Straußenküken im Alter von 2-6 Wochen auf. Sie blieben für etwa 4 Wochen bestehen, bevor sie innerhalb von 2-3 Wochen von selbst verschwanden. Mit 8-10 Wochen waren alle Küken wieder gesund. Es waren keine Veränderungen am Futter vorgenommen worden.

Bei den Haltungsbedingungen sind zwei Änderungen zu erwähnen, die im Zusammenhang mit den Spontanheilungen stehen könnten. Die Straußenküken waren die ersten 3 Wochen in einem Stall ohne Sonnenlicht und auf einem erhöhten Gitterboden gehalten worden, wodurch sie keine Möglichkeit der Aufnahme von Kot hatten. Ab der vierten Woche bekamen sie durch ein Fenster morgens 3-4 Stunden Sonnenlicht und liefen auf Betonboden mit Gittermatten, wodurch ihnen die Aufnahme von Kot möglich war. Die aufgetretenen Veränderungen bestanden aus Hyperkeratosen ventral, medial und lateral an den Zehenballen, wobei sie medial und lateral deutlicher ausgeprägt waren. Außerdem waren Hautpartien am seitlichen Schnabelrand und an den Rändern des oberen und unteren Augenlids betroffen (A.J. OLIVIER, persönliche Mitteilung, 1998).

2.4.14 Zehenabszesse (Toe abscesses)

HUCHZERMEYER (1998) beschreibt unter der Sohle der Hauptzehe lokalisierte Abszesse. Sie können beispielsweise durch von Dornen herrührende, infizierte Wunden verursacht sein und enthalten keinen flüssigen Eiter, sondern fibrinöses Exsudat. Das Wohlbefinden der Strauße kann durch solche Abszesse erheblich gestört sein. Dies kann eine ungleiche Belastung der Beine zur Folge haben, was bei Küken wiederum das initiale Trauma für eine nachfolgende Beindeformierung darstellen könnte.

2.4.15 Tibiotarsale Dyschondroplasie beim Geflügel

Fast alle der unter 2.4. aufgeführten Beinprobleme und -deformationen bei Straußen und anderen Ratiten sind auch vom Geflügel bekannt, vornehmlich von Huhn, Pute und Ente. Dazu kommen beim Geflügel noch einige Erkrankungen der Beine und des Skeletts, die beim Strauß bzw. bei den Ratiten bisher noch nicht aufgetreten oder beschrieben sind. Hierzu zählt die wichtigste Erkrankung des Geflügels, die Tibiotarsale Dyschondroplasie.

Tibiotarsale Dyschondroplasie ist durch eine abnormale Menge an Knorpel im proximalen Ende des Tibiotarsus charakterisiert. Sie kommt bei Masthühnern, Puten und Enten vor. Beim Huhn liegt die Häufigkeit ihres Auftretens zwischen unter 1 % und 4-40 % bei schweren Ausbrüchen (RIDDELL, 1981).

Klinische Symptome treten im Alter von 3-8 Wochen auf. Die Symptome umfassen Bewegungsunwillen, abnormale Körperhaltung, stelzenartigen Gang und beidseitige Schwellung des Intertarsalgelenks. Oft ist damit eine craniolaterale Verbiegung des Tibiotarsus verbunden. Diese klinischen Befunde werden mit der genannten abnormalen Menge an Knorpel im proximalen Ende des Tibiotarsus assoziiert. Abnormale Knorpelmengen können zum Teil auch in den mehr zum Knochenschaft gelegenen Teilen des proximalen Tibiotarsus und im proximalen Ende des Tarsometatarsus gefunden werden (RIDDELL, 1981).

Die Veränderungen werden nicht in Zusammenhang mit unzureichenden oder unausgeglichene Gehalten des Futters an Kalzium, Phosphor, Vitamin D oder anderen nutritiven Faktoren, die erfahrungsgemäß die Knochenbildung beeinflussen, gesehen. Genetische Selektion und Änderungen im Kationen-Anionen-Verhältnis durch die Elektrolyte haben einen Einfluß auf Häufigkeit und Schwere des Auftretens. Die Wachstumsrate wird als ein weiterer Faktor betrachtet, sowie möglicherweise eine unzureichende Blutversorgung der Metaphyse aufgrund zu hohen Drucks auf die Wachstumsfugen bei schnell wachsenden Tieren (RIDDELL, 1981).

REECE und BUTLER (1984) fanden bei Straußen-, Emu- und Rheaküken im Alter von 3 Wochen noch embryonale Knorpelsäulen im proximalen und distalen Tibiotarsus, wobei schmale Knorpelbrücken diese Säulen mit den Wachstumsfugen verbanden. Bei Geflügel (Huhn, Pute) bleiben die embryonalen Knorpelsäulen im Tibiotarsus bis zum Alter von 1-2 Wochen bestehen, mit 2-3 Wochen sind sie komplett durch trabekulären Knochen ersetzt. Die Autoren weisen darauf hin, daß dies bei Ratiten bis zum Alter von wenigstens 3 Wochen

wahrscheinlich normal ist und bei der Diagnose von Erkrankungen des Muskel- und Skelettsystems beachtet werden muß.

2.5 Ziele der eigenen Untersuchungen

Das Ziel dieser Untersuchung ist es, Referenzwerte wichtiger Mengen- und Spurenelemente in Serum, Leber, Knochen und Vollblut bei südafrikanischen Farmstraußen im Schlachtalter (10-16 Monate) zu erstellen. Zusätzlich sollen noch einige andere Parameter erfaßt werden, wie Serum-Dichte, Leber-Feuchtigkeitsgehalt, Knochen-Trockenmassegehalt, Knochen-Rohaschegehalt und Ca:P-Verhältnis in der Knochenasche. Außerdem soll der Feuchtigkeitsgehalt von frischen und Formalin-gelagerten Leberproben verglichen werden.

Die Referenzwerte bestehen aus zwei Datengruppen:

1. Den bislang in der Literatur erhältlichen Werten (siehe 2.2 & 2.3)
2. Den eigenen, bei dieser Untersuchung gefundenen Werten (siehe 4.)

Diese Referenzwerte sowie die beschriebenen Methoden sollen als Basis für weitere Untersuchungen mit dem Ziel der Erstellung von Referenzwerten der verschiedenen Altersklassen bei Straußen dienen, vor allem der Küken und Jungvögel. Erst damit können pathologische Veränderungen an den Beinen und deren Skelettsystem in Verbindung mit etwaigen Werteveränderungen in Serum, Leber, Knochen oder Vollblut gebracht werden. Später sollten dann noch die Werte der legenden Hennen von gesunden und erkrankten Küken verglichen werden (die Probennahme bei den Hennen muß während der Legeperiode erfolgen; der relative Zeitpunkt im Legezyklus muß bei der Beurteilung der Werte in Betracht gezogen werden).

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1 Material

3.1.1 Herkunftsgebiet der untersuchten Schlachtstraube

Alle Tiere stammten aus dem Hoheitsgebiet der Republik Südafrika.

Die verwendeten, domestizierten südafrikanischen Farmstraube (*Struthio camelus var. domesticus*) sind aus Kreuzungen zwischen dem Südafrikanischen Strauß (*Struthio camelus australis*) und dem Nordafrikanischen Strauß (*Struthio camelus camelus*) hervorgegangen. In der Blütezeit der Straußenindustrie Ende des letzten und Anfang dieses Jahrhunderts wurden diese beiden Unterarten gekreuzt, um die Federqualität zu verbessern. *Struthio camelus var. domesticus* wird inzwischen als eine eigenständige Haustierrasse angesehen und ist auch unter dem Namen "African Black" bekannt. Er ähnelt im Aussehen dem *Struthio camelus australis*, ist aber etwas kleiner, dafür jedoch schwerer und kompakter. Die Federn sind länger und von besserer Qualität als beim *Struthio camelus australis* (Jost, 1993; Krawinkel, 1994).

Ziel dieser Arbeit war es, eine möglichst gleichmäßige Streuung der zu untersuchenden Gruppen über die geographische Fläche des Landes Südafrika zu erreichen, was aber aus folgenden zwei Gründen nur teilweise möglich war:

a) Die Straußenfarmen sind nicht gleichmäßig über Südafrika verteilt. Ein Großteil der in Südafrika geschlachteten Straube kommt immer noch aus den traditionellen Straußenhaltungsgebieten um Oudtshoorn in der Kleinen und Zentralen Karoo (Western Cape), sowie aus dem Eastern Cape und dem Northern Cape. In den anderen Provinzen gibt es zwar auch Straußenfarmen (Freestate, North West Province, Gauteng, Mpumalanga und Northern Province), aber nicht so viele.

b) Die Planung an den Schlachthöfen in Bezug auf Herkunft, Tierzahl und Schlachtdatum der Tiere ist relativ kurzfristig und wird oft geändert. Infolgedessen war bei den intensiv vorbereiteten Fahrten zu den einzelnen Schlachthöfen eine Anpassung an die Herkunft der Tiere an den jeweiligen Schlachttagen nötig und auch akzeptabel, da ja auch eine zufällige Auswahl der Tiergruppen beabsichtigt war.

Mit dieser Untersuchung wurden dennoch die für die Straußenhaltung in Südafrika relevanten Gebiete abgedeckt, was nicht gleichzeitig eine homogene Verteilung über die geographische Fläche Südafrikas bedeutet, wie die in den Abbildungen 1 - 3 dargestellten Karten zeigen.

ERLÄUTERUNGEN ZU DEN ABBILDUNGEN 1 - 3:

Zur besseren geographischen Orientierung wurden in alle drei Karten die Landes- und Provinzgrenzen eingetragen. Diese Grenzen, sowie die Markierungen für die Schlachthöfe und Farmen wurden bei allen drei Karten beibehalten.

Die Karten wurden mit Hilfe des GIS-Systems (Geographic Information System) und dem Grafikprogramm Arcview in der GIS-Abteilung des Onderstepoort Veterinary Institute erstellt.

Abbildung 1:

In Abb. 1 sind die Schlachthöfe, an denen Proben genommen wurden, eingetragen, sowie die ungefähre Lage der Farmen, von denen die Tiere stammten. Die Lage kann nicht als exakte geographische Lage der Farm gesehen werden, sondern wurde nach den vorhandenen Informationen festgelegt. Die Namen der Provinzen und der Nachbarländer sind als zusätzliche Orientierungshilfe eingetragen. Der Maßstab der Karte ist etwa 1 : 10 800 000.

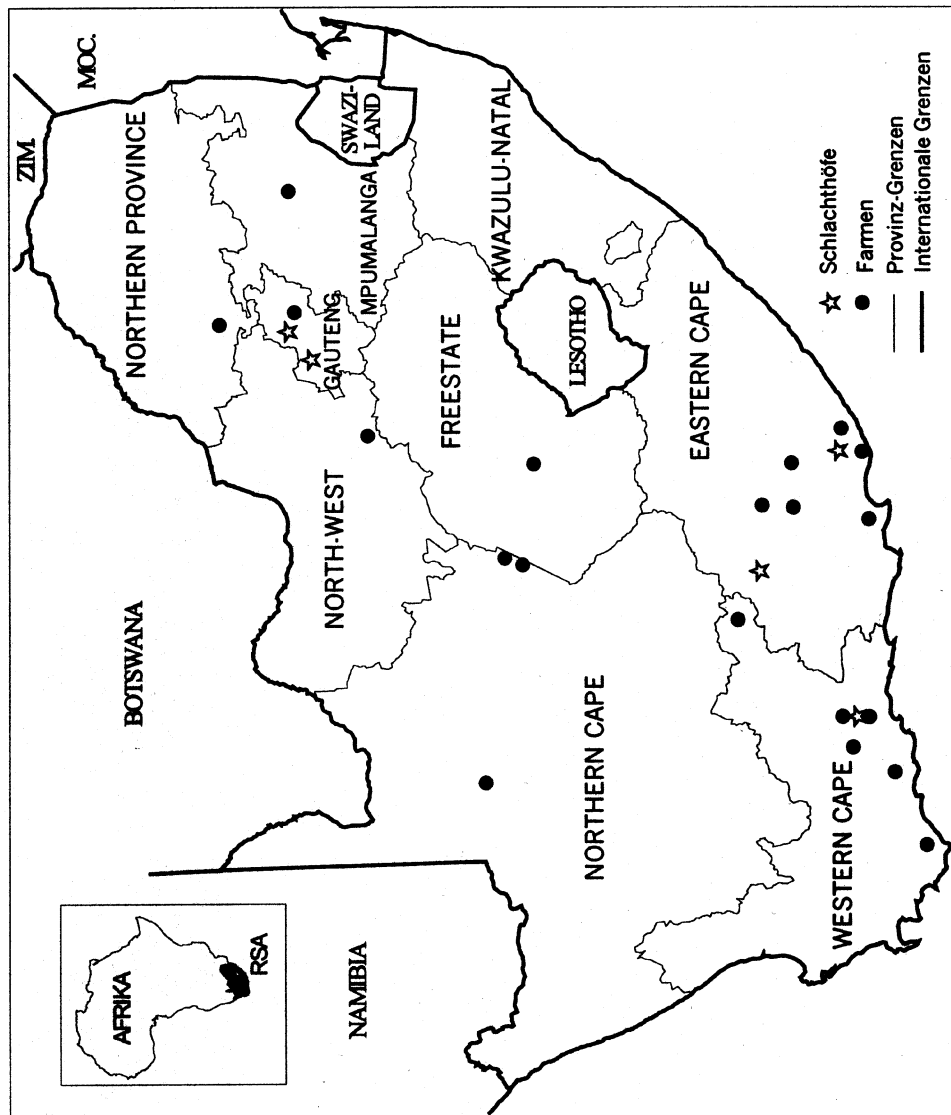


Abb. 1: Verteilung der Farmen und Schlachthöfe, an denen Proben genommen wurden, über die Republik Südafrika (RSA)

Abbildung 2:

Die Namen der Schlachthöfe wurden durch zweiteilige Buchstabenkürzel abgekürzt, in der Legende bedeutet der Name die jeweilige Stadt, in oder bei welcher der Schlachthof gelegen ist.

Die Lage der Farmen wurden mit Nummern gekennzeichnet. Die Benennung in der Legende erfolgte nach der nächstgelegenen Stadt. Der Zusatz (N) hinter Oudtshoorn bei Farm No 13 heißt, daß diese Farm nördlich von Oudtshoorn liegt (ca. 20 km). Weitere Farmen, die ebenfalls nachweislich deutlich außerhalb der namensgebenden Städte liegen, sind: No 10, Grahamstown, 40 km östlich; No 16, Cradock, 30 km südlich; No 19, Warmbad, 15 km nördlich; No 20, Pretoria, 20 km östlich. Der Maßstab der Karte ist etwa 1 : 11 000 000.

Abbildung 3:

In Abb. 3 wurde Südafrika in Regionen eingeteilt (Kürzel A - K), die eine ähnliche Vegetation, sowie ähnliche Klima- und Bodenbedingungen haben. Die Namen für die verschiedenen Regionen sind keine Eigennamen, sondern wurden nach dem dominierenden Gebiet oder dominierenden Gebietseigenschaften vom Verfasser gegeben. Der Maßstab der Karte ist etwa 1 : 10 800 000.

Die Vegetation, das Klima und der Boden der einzelnen Regionen wird im folgenden näher erläutert (die folgenden Quellen wurden hierfür benutzt: ACOCKS, 1988; SCHULZE, 1986; ANONYM, 1996; D.G. PATERSON, persönliche Mitteilung, 1997). Die Angaben sollen nur eine grobe Orientierung darstellen, da eine detaillierte Beschreibung am Ziel dieser Arbeit vorbeigehen würde. Außerdem wird kurz die klimatische Eignung zur Straußenhaltung genannt.

A - LOWVELD: Hauptsächlich tropisches, tief gelegenes Buschfeld ("Lowveld", Afrikaans), das von *Acacia* spp. dominiert wird und mit *Themeda*- und *Digitaria*-Gräsern bewachsen ist. Im Norden schließt sich das für den Kruger-Nationalpark typische Mopani-Veld an. Das Klima ist tropisch heiß mit Sommerregen zwischen 400 und 1200 mm p.a. (Der südafrikanische Sommer liegt

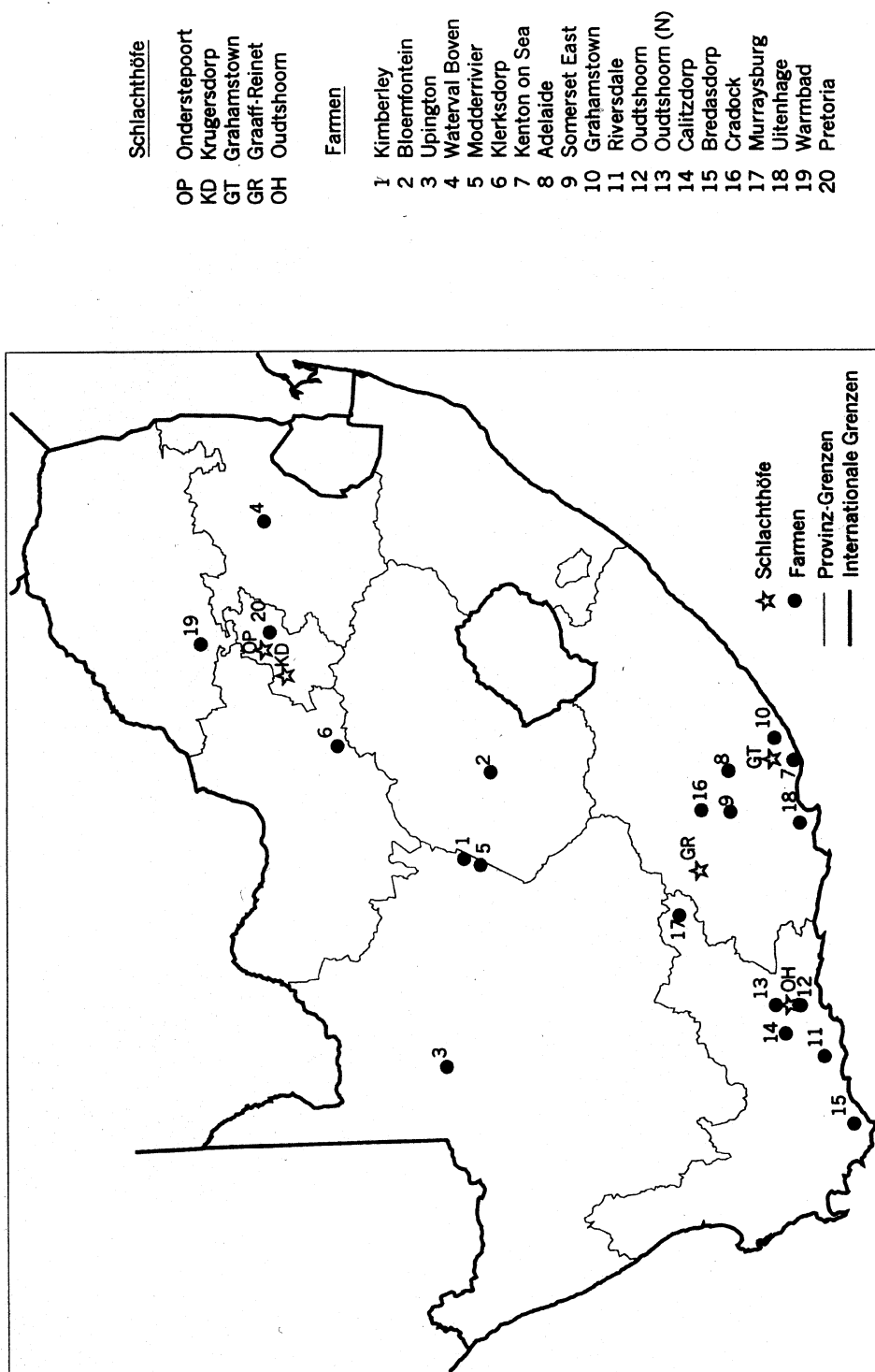
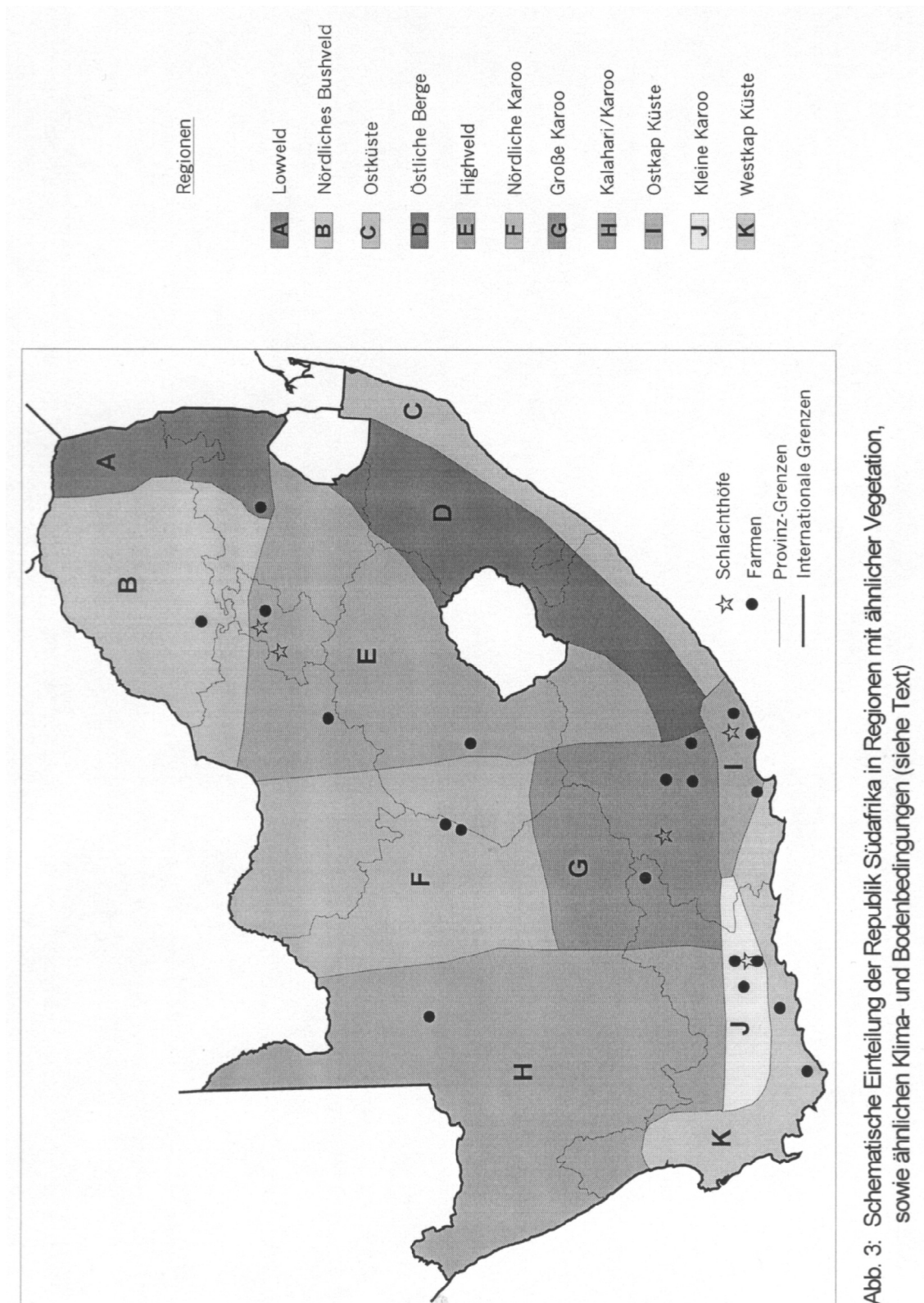


Abb. 2: Lage der Farmen und Schlachthöfe, an denen in der Republik Südafrika Proben genommen wurden



zeitgleich mit dem europäischen Winter). Im "Lowveld" herrschen schotterige, flache Böden vor, die im Osten in Lehmböden übergehen. Aufgrund der subtropischen bis tropischen Bedingungen ist dieses Gebiet nicht besonders für die Straußenhaltung geeignet, weshalb sich hier nur wenige Farmen befinden.

B - NÖRDLICHES BUSHVELD: Gemischtes Buschfeld und Dornfeld mit *Acacia*, *Combretum* und *Terminalia* spp., die Hauptgräser sind *Themeda*, *Cymbopogon* und *Eragrostis* spp.. Hier herrscht ein subtropisch heißes Klima mit einem Niederschlag von 400-800 mm p.a., der im Sommer fällt. Es kommen rote und gelbe Sandböden, Sand-Lehmböden und flache, felsige Böden vor. Verstreut existieren einige Straußenfarmen, die Bedingungen sind gut.

C - OSTKÜSTE: Küstenwälder, die weiter im Inland durch Grasfeld abgelöst werden. Das Klima ist tropisch heiß mit 600 bis über 1200 mm Niederschlag p.a. im Sommer. Im Norden findet man Lehm- und an der Küste Sandböden, im Süden mitteltiefe, hochgradig verwiterte Böden. Dieses Gebiet ist nicht besonders für die Straußenhaltung geeignet, es sind praktisch keine Straußenfarmen vorhanden.

D - ÖSTLICHE BERGE: Höher gelegenes Grasfeld auf sauren Böden, dominiert von den Grasspezies *Tristachya*, *Themeda*, *Eragrostis* und *Hyparrhenia* mit z.T. locker eingestreuten Baum-/Buschbewuchs. Das Klima ist gemäßigt mit einer jährlichen sommerlichen Niederschlagsmenge von 800-1200 mm. Es sind mitteltief bis tiefe rote und gelbe Sand-Lehmböden. Straußenhaltung ist selten.

E - HIGHVELD: Wird fast ausschließlich von verschiedenen Variationen von *Cymbopogon-Themeda*-Grasfeld bestimmt, das auf den hoch gelegenen Plateaus auf neutralem bis saurem Boden wächst, Baumbewuchs ist rar. Maisanbau ist weitverbreitet. Es fallen 400-800 mm Sommerregen in warmem Klima. Im Südosten findet man Lehmböden, im übrigen Gebiet rote und gelbe mitteltiefe Sand-Lehmböden, unter denen z.T. Eisen und Mangan in Einlagerungen akkumuliert ist. Straußenhaltung ist verbreitet.

F - NÖRDLICHE KAROO: Grasfeld und Dornfeld mit *Aristida*-, *Eragrostis*-, *Themeda*- und *Cymbopogon*-Gräsern und *Acacia* spp.. Das Klima ist heiß und trocken mit 200-400 mm, teilweise bis 600 mm Niederschlag im Sommer. Es dominieren Sandböden im Norden und rote und gelbe Sand-Lehmböden im Süden. Strauße werden überall gehalten.

G - GROSSE KAROO: Verschiedene Karoofeld-Typen, die z.T. auch steinig sind und im Süden in niedriges *Acacia*-Buschfeld übergehen. Die ursprünglichen Gräser *Themeda* und *Cymbopogon* spp. wurden infolge von Übergrasung durch *Aristida* und *Eragrostis* spp. ersetzt. Am gesamten Orange-River entlang liegende, künstlich bewässerte Luzernfelder sind von großer Bedeutung für die Straußenindustrie. Die Klimabedingungen sind denen in der Region Nördliche Karoo sehr ähnlich. Lehmböden mit darunterliegender Sandschicht im Norden und flache, felsige Böden im Süden sind für dieses Gebiet typisch. Die Straußenhaltung ist weit verbreitet.

H - KALAHARI/KAROO: Durch die Trockenheit ist die Vegetation spärlicher und es wachsen *Eragrostis*- und *Stipagrostis*-Gräser, sowie an den Hügeln *Merxmuelleria*- und *Ehrharta*-Gräser. Manche Teile sind von *Aloe* und *Euphorbia* spp. geprägt. Künstlich bewässerte Luzernfelder am Orange-River sind bedeutend für die Straußenindustrie. Das Klima ist heiß und sehr trocken mit nur 0-200 mm, evtl. bis 400 mm Niederschlag. Dieser fällt im Osten im Sommer und an der Westküste im Winter, im dazwischen liegenden Gebiet kann er zu beiden Jahreszeiten fallen. Es finden sich Sandböden im Norden, felsige und Felsböden im Nordwesten und flache Böden im restlichen Gebiet. Straußenfarmen sind über die Region verteilt zu finden.

I - OSTKAP KÜSTE: An die Küstenwälder schließen sich inlands Dornfeld mit saurem Grasfeld an (*Themeda*, *Tristachya*, u.a. spp.), die Täler sind mit Buschfeld bewachsen. Es ist warmes Sommerniederschlagsgebiet mit 200-800 mm p.a., das im Westen in Winterniederschlagsgebiet übergeht. In den Tälern finden sich tiefe Lehm- und Sand-Lehmböden, sonst flache Böden. Straußenhaltung ist häufig.

J - KLEINE KAROO: Ein von Bergketten im Norden und Süden begrenztes Gebiet, das durch Bewuchs mit Sukkulenten, Zwergbäumen, Büschen und wenig Gras charakterisiert war, heute aber vielfach durch künstlich bewässerte Luzernefelder geprägt ist. Die Bergketten sind mit Speckbaumbüschen (*Portulacaria* sp.) und anderen Sukkulenten bewachsen. Im heißen Klima beträgt der Niederschlag 0-400 mm p.a. und kann das ganze Jahr über fallen. Es sind flache Böden umgeben von felsigen Bergböden. Die Kleine Karoo ist seit jeher das Zentrum der Straußenindustrie.

K - WESTKAP KÜSTE: Küstenwälder gehen in durch *Proteaceae* spp. geprägten "Fynbos" und dann in sog. "Renosterveld" über, welches durch intensiven Getreideanbau seine ursprüngliche Vegetation fast völlig verloren hat. Ein gemäßigtes Klima mit Winterregen an der Westküste und ganzjährig vorkommendem Niederschlag an der Südküste von 200-1000 mm p.a. ist bestimmend. Es herrschen im Norden mitteltiefe Lehmböden vor, im Süden und Osten findet man isolierte "Podzols", die von Eisen- und Aluminiumakkumulation geprägt sind. Der Rest des Gebiets wird von flachen, felsigen Böden dominiert. Straußen werden hauptsächlich im Süden gehalten.

Zusammenfassend für alle Regionen kann über die Mineral- und Spurenelementgehalte der verschiedenen Böden folgendes gesagt werden:

Rote und gelbe Sand-, Lehm- oder Sand-Lehmböden haben einen hohen Eisengehalt, die rote/gelbe Farbe kommt von verschiedenen Eisenoxiden.

In den Gebieten "Nördliche Karoo, Große Karoo und Kalahari/Karoo" findet man häufig kalkhaltige Böden, die Kalkstein-reich mit einem alkalischen pH-Wert sind und einen hohen Gehalt an Kalzium und Magnesium haben.

In Gebieten, in denen der jährliche Niederschlag über 700 mm beträgt, werden bzw. wurden Kalzium, Magnesium und Mangan in Auswaschungs- und Umbauprozessen zu einem großen Teil durch Eisen und Aluminium ersetzt.

Es muß hierbei hinzugefügt werden, daß von der Bodenbeschaffenheit und seinem Mineral- und Spurenelementgehalt kein großer Einfluß auf die Elementwerte der Strauße erwartet wird, da das Futter auf den Farmen in vielen Fällen nicht vor Ort gewonnen wird und damit nicht unbedingt den Mineral- und Spurenelementstatus der Farm widerspiegelt.

3.1.2 Zahl und Gesundheitsstatus der untersuchten Tiere

3.1.2.1 ZAHL DER UNTERSUCHTEN TIERE

Als adäquate Zahl für einen repräsentativen Überblick über die Schlachtstraußenpopulation Südafrikas wurden 200 Tiere angesehen. Ein Minimum von 100 Proben wird im allgemeinen als Untergrenze für repräsentative Untersuchungen betrachtet. REED et al. (1971) und SASSE (1992) nennen ein Minimum von 120 Proben als Grundlage für eine statistisch aussagekräftige Untersuchung.

Es wurde eine Gruppengröße von 12 bzw. 15 Tieren von derselben Farm für die zu nehmenden Proben festgelegt. Davon wurden die Proben von 2-3 Tieren je Gruppe nicht untersucht, sie dienten als Sicherheitsreserve (bei Verlust oder Unbrauchbarkeit mancher Proben, z.B. durch zu wenig Serum). Die Proben der so verbleibenden 10 bzw. 12 Tiere je Gruppe wurden untersucht. Bei den Gruppen 1-3 fiel die Zahl der untersuchten Proben verglichen zu den genommenen Proben deutlich niedriger aus (Gruppe 1: 6, Gr. 2: 10, Gr. 3: 10 untersuchte bei jeweils 15 genommenen Proben). Dies lag an den zu geringen Serummengen, durch die die Serumproben einiger Tiere und wegen der daraus resultierenden Unvollständigkeit alle Gewebeproben dieser Tiere nicht verwendet werden konnten. Zehn Tiere gelten normalerweise als das Minimum, um über einen Wertebereich einer Tiergruppe eine Aussage machen zu können. Diese Zahl konnte außer bei Gruppe 1 bei allen Gruppen eingehalten werden.

Von 20 verschiedenen Farmgruppen wurden von insgesamt 262 Schlachttieren Proben genommen. Untersucht wurden die Proben von insgesamt 202 Tieren der unter 3.1.1 in Abb. 2 genannten 20 Farmen.

Bei der Untersuchung der Proben wurden in der Regel alle Proben der 202 Tiere auf den jeweiligen Elementgehalt des entsprechenden Gewebes untersucht. Bei manchen Elementen bzw. Geweben war dies allerdings vor allem aus finanziellen Gründen nicht möglich. So konnten beim Serum nur jeweils 40 Proben auf ihren Cl- und Gesamt-P-Gehalt untersucht werden. Bei der Knochenasche konnte bei nur 48 Proben der F-Gehalt und bei nur 40 Proben der Al-Gehalt bestimmt werden. Außerdem wurden von allen drei im Vollblut untersuchten Elementen (Mg, Fe, Se) nur bei 63 Proben die Elementkonzentrationen ermittelt. Auf die Einschränkung der Aussagekraft durch die verminderte und unter der allgemein als Minimum angesehenen Mindestzahl liegende Probenzahl für die genannten Elemente bzw. Gewebe wird in der Diskussion unter 5.1 genauer eingegangen.

3.1.2.2 GESUNDHEITSSTATUS DER UNTERSUCHTEN TIERE

Der Gesundheitsstatus der zur Schlachtung am jeweiligen Schlachthof angelieferten Strauße wird in einer Lebenduntersuchung vor der Schlachtung überprüft, die mit den in Deutschland durchgeführten Lebenduntersuchungen vergleichbar ist. Die Lebenduntersuchung wird in der Regel von dem für die anschließende Fleischschau zuständigen Tierarzt oder entsprechend ausgebildeten Fleischkontrolleur durchgeführt. Hierbei werden nur klinisch gesunde Tiere zur Schlachtung zugelassen, bei denen keine Anzeichen bzw. Symptome einer Erkrankung zu erkennen sind.

Bei den Probennahmen wurde zusätzlich - soweit dies im normalen Schlachtablauf möglich und zu erkennen war - auf Beinveränderungen, wie sie unter 2.4 beschrieben sind, sowie generell auf Skelettanomalien geachtet. Hierbei wurden bei keinem der 262 Strauße, von denen Proben genommen wurden, Beinveränderungen oder Skelettanomalien festgestellt.

Die Strauße tragen in aller Regel vom Transport zum Schlachthof keine Verletzungen davon. In wenigen Fällen sind beim Schlachten nach dem Abhäuten Hämatome an den Oberschenkeln oder am Hals zu sehen, die davon stammen, daß die Tiere sich beim Transport (oder beim Verladen) an den Viehtransporter-Aufbauten gestoßen haben. Hämatome werden bei der Fleischbeschau entfernt. Sehr selten passiert es, daß ein Tier sich auf dem Transport oder beim Abladen bzw. auf dem Schlachthof einen Beinbruch zuzieht. Dieses Tier wird dann sofort (nach Ankunft auf dem Schlachthof) notgeschlachtet.

Einige Informationen über den Transport der Strauße in Südafrika:

Die Tiere werden über Rampen auf die Viehtransporter getrieben. Diese haben etwa mannshohe Seitenbegrenzungen, die in der unteren Hälfte geschlossen und in der oberen Hälfte Metallplanken oder Bretter mit Zwischenräumen sind. Die Ladeflächen sind meist nochmals in 2-3 Abteilen unterteilt. Oft fährt auf der Ladefläche oder sogar in jedem Abteil einer der betreuenden Farmarbeiter mit, da die Tiere dadurch auf der Fahrt ruhiger sind. Die Anwesenheit der die Tiere normalerweise betreuenden Personen trägt erheblich zum Wohlbefinden der Strauße bei und vermindert die nicht unerhebliche Streßbelastung der Tiere während dem Verladen und dem Transport. Dadurch wird die Verletzungsgefahr hierbei erheblich vermindert. Die Transportdauer reicht von wenigen Minuten bis zu 8-12 Stunden, je nach Entfernung der Farm vom Schlachthof. Wasser und Futter sind für die Strauße während des Transports nicht verfügbar. Nach der Ankunft am Schlachthof werden die Tiere bis zur Schlachtung in Ställen vor Ort gehalten, in denen sie Zugang zu Tränken haben. Gefüttert werden die Tiere nur, wenn sie nicht noch am gleichen Tag (bei früher Anlieferung) oder am Vormittag des auf die Anlieferung folgenden Tages geschlachtet werden. In der Regel werden die Strauße bei der Schlachtung an den südafrikanischen Schlachthöfen in der Zeit zwischen 6 Uhr und 14 Uhr getötet. Dadurch wurden in diesem Zeitraum des jeweiligen Schlachttages auch die Serum- und Vollblutproben der Schlachtstrauße genommen. Die Leber- und Knochenproben wurden, zeitversetzt durch den Schlachtprozeß, etwa 30 bzw. 60 Minuten später genommen.

3.1.3 Ernährung und Alter der verschiedenen Gruppen von Schlachtstraußen

Die verschiedenen, grundsätzlichen Inhaltsstoffe der Futterrationen der verschiedenen Gruppen von Schlachtstraußen, sowie das Alter der Gruppen, sind in Tabelle 22 dargestellt (folgende Seite).

Das Alter der untersuchten Schlachtstraube lag zwischen 10 und 16 Monaten. Es handelt sich somit um subadulte Tiere, deren Metabolismus sich in Bezug auf die untersuchten Mineralstoffe in einem statischen Zustand befindet. Weder das starke Wachstum der Jungtiere, noch die Legetätigkeit der Hennen nimmt hier Einfluß auf den (dann mehr dynamischen) Metabolismus. Das Alter der Tiere innerhalb der einzelnen Gruppen variiert etwas innerhalb der genannten Grenzen von 10 bis 16 Monaten. In Tabelle 22 ist deshalb das Alter der Tiere je Gruppe aufgeführt (folgende Seite).

3.1.4 Orte der Probennahmen

Die verschiedenen Proben wurden an 5 wichtigen Straußenschlachthöfen in der Republik Südafrika genommen:

Graaff-Reinet, Grahamstown, Krugersdorp, Onderstepoort und Oudtshoorn. Von den genannten 20 Gruppen wurden an jedem Schlachthof 4 Gruppen ausgewählt. Untersucht wurden 40 Tiere von Graaff-Reinet, 40 von Grahamstown, 36 von Krugersdorp, 46 von Onderstepoort und 40 von Oudtshoorn.

Die in dieser Dissertation für die 20 Straußengruppen verwendeten Nummern stimmen mit den in Abb. 2 (siehe 3.1.1) für die Lagebezeichnung der Farmen verwendeten Nummern überein.

Tabelle 22: Inhaltsstoffe der Futterrationen der verschiedenen Gruppen von Schlachtstraußen

Gruppe Nr.	Alter (Monate)	Grundfutter	Weiteres, zusätzliches Grund- oder Energiefutter	Zusatzfutter (Vitamine und Mineralstoffe)
1	10-11	Pellets	Luzerne, Mais, Melasse	ja
2	10-12	Pellets	Luzerne, Mais, Luzerne-Weide	ja
3	10-12	Pellets	Luzerne, Mais, Luzerne-Weide	ja
4	12-16	Luzerne	Mais	ja
5	12-14	Pellets	--	ja
6	10-14	Luzerne	Mais	ja
7	12-14	Luzerne	Mais, Pellets	■
8	13-15	Pellets	Gras-Weide	■
9	13-15	Luzerne	Pellets	■
10	11-14	Luzerne	Pellets	■
11	14-15	Luzerne	Gras-Weide, Pellets, Mais	■
12	14	Luzerne	Gras-Weide, Pellets, Mais	■
13	14-16	Luzerne	Gras-Weide, Pellets, Mais	■
14	14	Luzerne	Gras-Weide, Pellets, Mais	■
15	14-16	Luzerne-Weide	Gras-Weide, (Pellets, Mais)	■
16	14-16	Pellets	Mais, Luzerne-Heu	■
17	11-12	Pellets	Luzerne-Heu	■
18	12-13	Pellets	Mais	■
19	11-14	Luzerne	Mais, Sojakuchen	ja
20	12-16	Pellets	--	ja

Pellets = zugekauft, z.T. selbst hergestellt, als Voll- oder Teiltration (Zusammensetzung: hauptsächlich Luzerne, Mais, anderes pflanzliches Protein, Vitamin- und Mineralstoffvormischungen)

Luzerne = frisch geschnittene Luzerne und Luzerne-Weide, z.T. auch Luzerne-Heu

-- = kein Futter dieser Kategorie

ja = Zusatzfutter unbekannter Vitamin- und Mineralstoff-Zusammensetzung wird verabreicht

■ = nicht bekannt, ob Zusatzfutter gegeben wird

3.1.5 Beschreibung der Probensammlung mit einer kurzen Beschreibung des Schlachtprozesses

Für die verschiedenen Untersuchungen wurden Serum- und Heparinblutproben, sowie Leber- und Knochenproben benötigt. Die Proben wurden während des Schlachtprozesses gewonnen. Nach dem sogenannten "Stunning" der Strauße (Betäubung der Tiere mit einer am Kopf hinter den Augen angesetzten Elektrozange mit zylindrischen Metallpolen werden diese an den Beinen aufgehängt, wobei eine Marke mit der jeweiligen laufenden Probennummer an einem Bein befestigt wurde. Die zur Betäubung verwendete Spannung und Stromstärke sowie die Betäubungszeit sind von Schlachthof zu Schlachthof unterschiedlich. So werden beispielsweise im einen Fall 85 V bei 0,5 A zweimal für 5 sec angelegt (5 sec, wenige Sekunden Unterbrechung, 5 sec), im anderen Fall werden einmal 7 sec lang 180 V bei 0,3 A angelegt. Direkt nach dem Aufhängen an den Beinen werden die Tiere mit einem Querschnitt im Kehlbereich ausgeblutet. Hier wurden die Blutproben genommen (siehe unten). Im Anschluß werden die Tiere gerupft und werden hängend an der Laufschiene in den Reinbereich des Schlachthofs weitertransportiert. Nun erfolgt das Häuten, bei welchem die Schlachtkörper von den Beinen an die Flügel umgehängt werden. Hierbei wurde auch die Nummernmarke an die Flügel umgehängt und darauf geachtet, daß sie am selben Tier blieb.

Nach der Häutung wird die Sternalplatte aufgesägt und die Bauchhöhle bis zur Kloake eröffnet mit anschließender Eviszeration. Hier erfolgte die Geschlechtsbestimmung anhand verbliebener Testes oder Testisreste bzw. des Ovars oder der Ovarreste. Wenn nichts mehr am Bauchhöhlendach zu finden war, wurde in der Wanne mit den Eingeweiden nach den Testes oder dem Ovar gesucht. An der Größe der Testes oder des Ovars läßt sich auch sehr gut der Zustand des Tieres in Bezug auf dessen Geschlechtsreife und seine sexuelle Aktivität kontrollieren. Dies war insofern interessant, da die Zielgruppe Tiere im normalen Schlachalter von 10-14 Monaten (bis 16 Monate) waren, die sich in einem submaturren Zustand befinden. Zum Teil werden auch ältere Tiere (infertile

Hähne, nicht legende oder infertile Hennen) mit den Schlachtgruppen der Farm mitgeschlachtet, was bei der Blutprobengewinnung vor dem Rupfen leicht zu übersehen ist. Sie sollten vermerkt werden, da bei ihnen der metabolische Zustand der Mengen- und Spurenelemente von dem der submaturen Tiere abweichen könnte. Dies wurde als eine zusätzliche Alterskontrolle benutzt.

Nicht geschlechtsreife Hähne im Schlachtalter von 10-14 Monaten haben kleine, etwa 0,8-1 x 3,5-4,5 cm messende Testes. Ältere, geschlechtsreife Hähne, die schon einmal sexuell aktiv gewesen sind, haben Testes in einer Größe von etwa 1-1,5 x 5-6 cm, wohingegen diese bei sexuell aktiven, geschlechtsreifen Hähnen eine Größe von etwa 2-2,5 x 8-10 cm erreichen. Nicht geschlechtsreife Hennen mit 10-14 Monaten haben Ovarien (nur das linke Ovar ist entwickelt), deren Follikel einen Durchmesser von 0,8 cm normalerweise nicht übersteigen. Bei geschlechtsreifen, nicht legenden Hennen sind die Follikel bis zu 3-4 cm im Durchmesser, wohingegen sie bei legenden Hennen einen Durchmesser von bis zu 7-10 cm erreichen und sich manchmal auch ein in der Bildung befindliches Ei im Eileiter finden läßt.

Leber und Herz werden mit einem Haken zum Schlachtkörper gehängt, so konnte die Leberprobe einfach abgeschnitten werden. Nach Ausspritzen der Bauchhöhle mit Wasser erfolgt die fleischhygienische Kontrolle. (Das Ausspritzen der Schlachtkörper erfolgt nur, wenn keine Auffälligkeiten, wie z.B. Abszesse, in der Brust- und Bauchhöhle zu sehen sind. Falls dies der Fall ist, werden die entsprechenden Teile, der Brustkorb, der Torso oder auch der ganze Schlachtkörper verworfen). Bei der fleischhygienischen Kontrolle wird besonders auf Verwachsungen der Luftsäcke oder Luftsackentzündungen, Veränderungen an den Organen der Leibeshöhle, Abszesse (insbesondere Spritzenabszesse am Hals oder Unterschenkel) und auf ein gutes Ausbluten geachtet. Zum besseren Ausbluten werden die großen Blutgefäße caudal am Kniegelenk durchtrennt. Bei Luftsackverwachsungen/-entzündungen werden je nach Ausmaß die Luftsackmembranen ausgezogen oder die Brustwände bzw. die ganze Brustregion entfernt.

Die Schlachtkörper kommen ins Kühlhaus, wo die beiden Beine nach einem Schnitt, der von der Inguinalspalte auf das Coxofemoralgelenk (*Articulatio coxae*) läuft und die Gelenkkapsel sowie das *Ligamentum capitis femoris* durchtrennt, nach außen und unten geklappt werden. Durch diese Trennung der sonst an der Bauchwand anliegenden großen Muskelbäuche der Innenschenkel wird die Auskühlung erheblich beschleunigt. Im Kühlhaus wurde von den noch markierten Tieren ein ganzer Humerus als Knochenprobe genommen. Das Auskühlen dauert etwa 16-24 Stunden. Erst danach, wenn die Innentemperatur der großen Muskelbäuche eine Temperatur von 7 °C erreicht hat, erfolgt das Entbeinen und Verpacken der Fleischportionen. Die Muskelbäuche der Beckengliedmaßen werden voneinander und vom Knochen getrennt, sie sind die wertvollsten Fleischanteile beim Strauß und werden zum Großteil als Fillet (*M. iliofibularis* und *M. caudiliofemoralis*) oder Steak verwendet. Die qualitativ weniger wertvollen Partien werden zu Biltong (Trockenfleisch), Wurstwaren oder Fabrikfleisch verarbeitet. Die Lendenmuskulatur wird zu Steak oder Schnitzel verarbeitet, der Straußenhals wird in ähnlicher Weise wie Ochsenfleisch zubereitet. Flügel, Rippen, Rücken, Brust, Schwanz und Knochen werden je nach Schlachthof unterschiedlich verwendet. Zum Teil werden sie direkt vermarktet, zum Teil werden sie auch entbeint oder zu Tier- bzw. Knochenmehl verarbeitet. Außerdem dienen auch Herz, Leber und der Muskelmagen (nach dem Entfernen der Koilinschicht) dem menschlichen Verzehr, während Lunge und Nieren in die Hunde- und Katzenfutterproduktion gehen. Das Abdominalfett kann zu Öl oder Kochfett verarbeitet sowie in der Seifen- und Kosmetikproduktion und für einige andere Zwecke verwendet werden.

3.1.6 Gewinnung und Lagerung der verschiedenen Proben

3.1.6.1 VORVERSUCHE ZUR SERUMGEWINNUNG

Vor dem Beginn der Probennahme und dem Kauf der Serumröhrchen dafür wurden verschiedene, sich in Material, Größe und Form unterscheidende Röhrchen (jeweils $n = 5$) getestet. Zweck dieses Vorversuchs war, festzustellen, welcher Typ Röhrchen sich am besten für eine problemlose Serumgewinnung mit ausreichender Ausbeute eignet. Zur Auswahl standen: Normale 10 ml Blutprobenröhrchen aus Glas mit rundem Boden, innen siliconbeschichtet, steril, mit siliconbeschichtetem Gummistopfen; Polytop®-Röhrchen, 30ml, aus Glas, mit flachem Boden, unsteril, mit Polypropylenstopfen; Zentrifugenröhrchen aus Polypropylen, 50ml, mit konischem Boden, steril, mit Kunststoffschraubdeckel; Zentrifugenröhrchen aus Polystyren, 30ml, mit konischem Boden, steril, mit Kunststoffschraubdeckel. Außerdem hätten noch größere Glaszentrifugenröhrchen benutzt werden können, die aber in der Anschaffung zu teuer waren.

Bei den vier verschiedenen Röhrchentypen war bei den 50ml-Polypropylenröhrchen und den 30ml-Polystyrenröhrchen im Vergleich zu den Glasröhrchen eine sehr stark Bindung des Blutkoagels an die Röhrchenwandung zu erkennen, die sich nur schwer lösen ließ. Hierbei trat oft eine deutlich sichtbare, rötliche Verfärbung der Serumproben auf, die Hämolyse als Ursache vermuten ließ und deshalb nicht akzeptabel war. Die stärkere Adhäsion der Blutkoagel an Kunststoff liegt an der "Vorliebe" von weißen Blutzellen für Kunststoffoberflächen, sie lagern sich an und an sie lagern sich die Erythrozyten an. Außerdem waren die bei den Kunststoffröhrchen gewonnen Serummengen deutlich kleiner als die bei den Glasröhrchen gewonnenen. Beide Glasröhrchentypen lieferten ein optisch gesehen einwandfreies Serum in ausreichender Menge. Da pro Tier eine Serummenge von etwa 10 ml angestrebt wurde und die Serumausbeute beim Straußenblut teilweise relativ gering ist, wurden die 30ml Polytop®-Röhrchen den 10ml Serumröhrchen vorgezogen. Bei den 30ml-Röhrchen waren hierfür zwei pro Tier ausreichend, während von den 10ml-Röhrchen drei bis vier pro Tier

notwendig gewesen wären (jedes zusätzlich bei der Probennahme zu handhabende Röhrchen erschwert diese).

3.1.6.2 SERUMGEWINNUNG UND -LAGERUNG

Das Blut für die Serumgewinnung wurde an der Ausblutungsstation in der Schlachtlinie genommen. Benutzt wurden pro Tier zwei neue Glas-Polytop®-Röhrchen mit Polypropylenstopfen, Fassungsvermögen 30 ml, die zu etwa 75-80 % gefüllt wurden.

Zur Blutprobennahme (Serum- und Heparin-Blutproben) bei den Schlachtstraußen beim Ausbluten:

Es wurde darauf geachtet, daß die Proben nicht von dem direkt nach dem Kehlschnitt aus den arteriellen Gefäßen herausschießenden Blut genommen wurden. Auch nach Abschwächung dessen wurden die immer noch mit starkem Druck blutenden Arterien vermieden. Außerdem wurden die Probenröhrchen in einem Winkel von etwa 45° zum herauskommenden Blutstrom nah an diesen gehalten, das Blut wurde an der inneren Gefäßwand aufgefangen und konnte dann an dieser hinunterrinnen. Ein direktes Reinplätschern des Blutes in das schon im Röhrchen vorhandene Blut wurde vermieden. Mit diesen Maßnahmen sollte ein Brechen der Erythrozytenzellwände im Auffangprozeß und danach verhindert werden, was Hämolyse zur Folge gehabt hätte. Weiterhin wurde darauf geachtet, daß aus dem Oesophagus rinnende Flüssigkeit, Federteile oder Schmutz nicht mit in die Probenröhrchen gelangten. In gleicher Weise wurde dies bei den Heparinblutproben gehandhabt, wobei wegen der später stattfindenden Zellzerstörung durch die Verdauung des Heparinbluts als Vollblut nicht auf Hämolyse geachtet werden mußte.

Die Röhrchen wurden vorsichtig geschwenkt und bei Raumtemperatur für 1-2 Stunden in einer schrägen Position stengelassen, um eine bessere Koagulation zu gewährleisten. Dann wurden die Röhrchen bei 3000 Umdrehungen pro Minute (rpm) für 10 Minuten zentrifugiert (Radius 12,4 cm; entspricht einer relativen

Zentrifugalkraft von etwa 1250 g). Das überstehende Serum wurde vorsichtig und langsam mit einer Hirschmann® Labopette (1000-5000 $\mu\ell$) abgezogen (um ein Aufwühlen von Erythrozyten und anderen Blutkörperchen oder von Zellbestandteilen dieser zu vermeiden) und in zwei 4,5ml- und ein 3,6ml-Cryopräservationsröhrchen (Nunc Cryotubes®, Dänemark) gefüllt. Diese wurden mit der laufenden Probennummer des Tieres gekennzeichnet, die 4,5ml-Röhrchen einer Gruppe, genauso wie die 3,6ml-Röhrchen wurden doppelt in Tiefgefriertüten eingepackt, mit Gummis verschlossen und gekennzeichnet. Sie wurden in der Gasphase eines transportablen Behälters für flüssigen Stickstoff (Orion ET-44, Cryo Biological System, MVE Cryogenics®) bei -196°C tiefgefroren und gelagert.

3.1.6.3 VOLLBLUTGEWINNUNG UND -LAGERUNG (HEPARINBLUT)

Die Heparinblutprobe wurde ebenfalls an der Ausblutungsstation genommen. Verwendet wurde ein neues 10ml Vac-U-Test®-Röhrchen (Additiv: Lithiumheparin 14,3 U.S.P./ml Blut) mit siliconbeschichtetem Gummistopfen. Diese Röhrchen wurden zu etwa 60-70 % gefüllt und nach Verschuß dreimal um 180° geschwenkt, um eine ausreichende Durchmischung des Antikoagulans Lithiumheparin mit dem Blut zu gewährleisten. Zur Blutprobennahme beim Ausbluten siehe 3.1.6.2.

Nach 1-2 Stunden Stehenlassen bei Raumtemperatur, Kennzeichnung mit der laufenden Probennummer und Verpackung gruppenweise in Tiefgefriertüten wurden diese Proben bei -14 bis -20°C eingefroren, bzw. bei der Fahrt in transportablen Kühlboxen mit gefrorenen Kühlelementen gelagert.

3.1.6.4 GEWINNUNG UND LAGERUNG DER LEBERPROBEN

Die Leberprobe wurde nach der Eviszation genommen, wenn Leber und Herz an einem Haken am oder beim Schlachtkörper hingen. Mit einer chirurgischen Pinzette und einer scharfen Schere wurde ein etwa 8-10 cm langer und 2 cm breiter Streifen Leber vom Rand des großen rechten Leberlappens getrennt (von der Leberrandzone, um größere Blutgefäße zu vermeiden). Dieser Streifen wurde

in 2 x 2 x 1,5 cm große Stücke zerteilt, um eine ausreichende Sättigung der Probenmaterials mit Formalin - auch in den inneren Probenschichten - zu gewährleisten und in 4%-iges, ungepuffertes Formalin in 40 ml-Probengläschen aus Plastik mit Plastiksraubdeckel (Polystyren) gegeben. Die Zusammensetzung des 4%-igen, ungepufferten Formalins lautet: 1 Volumenteil Formaldehydlösung 40%, CP-Qualität (chemically pure) auf 9 Volumenteile deionisiertes Wasser. Wegen der beabsichtigten Phosphor-Bestimmung in der Leber wurde kein mit Phosphat gepuffertes Formalin verwendet. Das Probengläschen wurde kräftig geschüttelt, um an den Leberteil anhaftende Blutreste "auszuwaschen" und das Formalin abgegossen. Dann wurde das Gläschen mit den Leberproben erneut mit 4%-igem, ungepuffertem Formalin bis zur vollständigen Bedeckung der enthaltenen Leberproben gefüllt und von da an bei Raumtemperatur unter Vermeidung von direkter Sonnenbestrahlung gelagert.

3.1.6.5 GEWINNUNG UND LAGERUNG DER HUMERI

Die Knochenprobe wurde am immer noch gekennzeichneten Schlachtkörper im Kühlhaus genommen. Es wurde jeweils ein ganzer Humerus vom Schlachtkörper getrennt. Da der Humerus (mit daranhängenden Radius und Ulna) von den an den Flügeln aufgehängten Schlachtkörpern in der relativen Enge des Kühlhauses und bei der Schwere der Schlachtkörper (etwa 45-60 kg) nur unter großer Kraftaufwendung (beim Hochhalten des Schlachtkörpers) abgesetzt werden konnte, wurde in der Regel der besser erreichbare Humerus eines Tieres genommen, weshalb sowohl linke als auch rechte Humeri vorkommen. Die markierten Humeri wurden in Tiefgefriertüten eingefroren und später mit einem neuen Skalpellblatt und einer chirurgischen Pinzette sorgfältig von anhaftendem Material (Muskeln, Fett, Sehnen, Faszien) und dem Periost befreit, nur der Knorpelüberzug an den Epiphysen wurde belassen. Der Humerus besitzt beim Strauß eine Markhöhle. Diese wurde aber nicht geöffnet und das Mark nicht entfernt. Die Humeri wurden wieder gekennzeichnet, luftdicht in Tiefgefriertüten verpackt und tiefgefroren bei -14 °C bis -20 °C gelagert.

3.2 Methoden

Geräte, Laborwaren und Reagenzien

Alle verwendeten Säuren und anderen Reagenzien waren mindestens von chemischer AR- (Analytical Reagent) oder äquivalenter Qualität bzw. Reinheit. Hergestellt wurden sie von der Firma Merck, Darmstadt.

Alles verwendete Wasser war mindestens de-ionisiert ($\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$), zum Teil zusätzlich auch sterilisiert.

Bei allen Laborarbeiten wurden alle Glaswaren, wie Reagenzgläser und volumetrische Gefäße, sowie die Kunststoff-Flaschen vor jedem Gebrauch durch 24-stündiges Einlegen in verdünnte HNO_3 -Lösung (1 : 9; $\text{HNO}_{3\text{conc.}}$, 65% : $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$) gereinigt, dreimal mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$ ausgespült und im Abluftofen getrocknet.

- Micro-Pipette mit austauschbaren Spitzen (100-1000 μl , Socorex[®], Schweiz)
- Analytische Waage, Sartorius[®], Modell 1872, Zeiss
- Analytische Waage, Sartorius[®] 1203 MP, Zeiss
- Analytische Waage, Mettler PK 4800, DeltaRange[®], Mettler Instrumente AG, Zürich, Schweiz
- Vortex-Mixer (Ika-Vibro 6[®], Janke & Kunkel KG, Staufen im Breisgau)
- Heizblock (Aluminium; BD 20/40 Heater Unit, Technicon Ltd, Irland)
- Abluftofen, Term-o-mat[®], Labotec, Midrand, Südafrika
- Veraschungsöfen, nach Kundenwunsch gefertigt, Kontrolleinheit: Wild Barfield[®], Südafrika, und Porzellan-Veraschungsschalen
- Borosilikatglas-Reagenzgläser (englisch: medium walled pyrex digestion tube, mundgeblasen, hergestellt in Südafrika, Abmessungen: ± 25 mm Außendurchmesser x 250 mm Länge)
- 10ml-Reagenzgläser (Quarzglas) mit Polypropylenstopfen
- Volumetrische 50 ml- und 100 ml-Gefäße (Quarzglas)
- Polypropylen- und Polyethylen-Flaschen mit Deckel

- Edelstahl-Pinzette und -Skalpellschlingen
- Papierfilter (Whatman®)
- Glasierter Porzellanmörser mit Pistill

Analyseninstrumente

Bei allen Messungen mit den unten genannten Instrumenten wurden die in den jeweiligen Geräteanleitungen vorgeschriebenen Meßkonditionen eingehalten.

- Flammen-Atomabsorptionsspektrophotometer, Avanta® Atomic Absorption Spectrophotometer, GBC Scientific Equipment Pty Ltd, Australia
- DCP (Direct Current Plasma)-Atomemissionsspektrometer, SpectraSpan V® Emission Spectrometer, Spectrametrics, Massachusetts, USA
- Induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrophotometer, VG PlasmaQuad® PQ₂ Turbo Plus ICP-MS, Fisons Instruments, UK
- Photometer mit vorgeschaltetem "Flow system", San plus system®, Photometer 6250, Skalar und AutoAnalyzer® II, Technicon Ltd, Dublin, Irland
- Flammen-Photometer, Flame Photometer - Mod. IV, AutoAnalyzer®, Technicon® Instruments Corporation, Irland
- UV-Spektrophotometer, UV-visible recording spectrophotometer Shimadzu UV-260, Japan
- Ionometer mit F⁻-Elektrode, Orion® ion specific meter, Orion Research Inc., Massachusetts, USA
- Ionen-Chromatograph (Anionen-Austauschssäule und Leitfähigkeitsdetektor), Dionex DX 120 ion chromatograph, AS4A-SC 4 mm anion exchange column, Dionex Corporation, Sunnyvale, Kalifornien, USA

3.2.1 Chemischer Aufschluß des Serums und anschließende Analysen

In Tabelle 23 ist zusammengefaßt, von welchen Elementen die Konzentrationen im Serum bei wie vielen Proben mit welcher Methode ermittelt wurden.

Tabelle 23: Im Serum bestimmte Elemente, Anzahl der Proben und verwendete Methode

Element	Konzentration bestimmt	Anzahl untersuchter Proben	Verwendete Analysenmethode
Ca, Mg, Zn, Fe	ja	202	Flammen-Atomabsorptionsspektrophotometrie (AAS)
anorg. PO ₄	ja	202	Photometrie
Gesamt-P	ja	40	DCP-Atomemissionsspektrophotometrie (DCP-AES)
Cu, Mn, Se, Cr, Co	ja	202	Induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrophotometrie (ICP-MS)
Na, K	ja	202	Photometrie
Cl	ja	40	Ionen-Chromatographie
Pb, As, Cd, Si, F, Al	nein	--	--

3.2.1.1 SERUMAUFSCHLUSS UND ANALYSEN FÜR ALLE IN DEN SERUMPROBEN UNTERSUCHTEN ELEMENTE MIT AUSNAHME VON ANORGANISCHEM PHOSPHAT UND CHLORID

Die Methode für die chemische Verdauung des Serums, wie auch des Vollbluts, basiert auf folgenden drei Methoden: SUBRAMANIAN & MERANGER (1985); HAJ-HUSSEIN & CHRISTIAN (1986); HARRISON et al. (1996).

Das Serum wurde nach dem Auftauen in den Cryopräservationsröhrchen (Nunc Cryotubes®) dreimal geschwenkt, um eine homogene Flüssigkeit vorliegen zu haben (Serumtemperatur entsprach der Raumtemperatur von etwa 20 °C). Dann wurden mit einer Micro-Pipette mit austauschbaren Spitzen (Socorex®) 1,00 ml in Borosilikatglas-Reagenzgläser (25 x 250 mm) abpipettiert, die vorher auf einer analytischen Waage (Sartorius®, Modell 1872) per Tara genullt waren. Dann wurde beides auf ± 0,0001 g genau gewogen. Weitere 1,00 ml Serum von derselben Probe wurden hinzugefügt und das Ganze nochmals gewogen.

Die physikalische Dichte der einzelnen Proben wurde mit der 2,0 ml-Masse wie folgt berechnet:

Probenmasse (g) : Probenvolumen (ml) = Physikalische Dichte der Probe (g/ml).

Bei 10 Serumproben (Proben-Nr. 16, 17, 28, 29, 31, 37, 39, 40, 42, 45) konnten nur ± 1 ml Serum mit der Pipette gewonnen werden. Eine genaue volumetrische Abmessung war hier nicht möglich, da bei diesen Proben nur diese kleine Menge Serum im Röhrchen vorhanden war. Hier wurde das eingewogene Gewicht notiert. Zur Einheitsumrechnung von mg/kg in mg/dl wurde für diese Proben die Durchschnittsdichte aller anderen Serumproben verwendet.

Den 2,0 ml Serum wurden 8,0 ml konzentrierte Salpetersäure (HNO_3 , 65 %) zugegeben. Das Ganze wurde für mindestens eine Stunde stehengelassen. Die Reagenzgläser wurden in einen kalten Heizblock gestellt (BD 20/40 Heater Unit). Dieser wurde in 50 °C-Schritten auf 140 °C (± 10 °C) erhitzt. Dann wurden die Verdauungslösungen 20-30 min bei dieser Temperatur gehalten bis keine sichtbaren Rückstände mehr vorhanden waren. Anschließend wurden 2,0 ml deionisiertes Wasser ($\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$) zugegeben. Die Reagenzgläser wurden für weitere 5 min in den noch warmen Heizblock zurückgestellt. Nach Abkühlung wurde die Lösung in ein volumetrisches 50 ml-Gefäß gegossen und das Reagenzglas mehrfach mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$ in das 50 ml-Gefäß hinein ausgespült. Es wurde auf 50,0 ml mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$ aufgefüllt und gut gemischt.

Die fertigen Lösungen wurden bis zu den Analysen in verschlossenen Polypropylen-Flaschen gelagert, die wie die anderen Glasgefäße gereinigt und getrocknet waren (siehe 3.2). Die Lösungen wurden mit Papierfiltern (Whatman®, No. 2) in die Polypropylen-Flaschen gefiltert. Die Papierfilter waren vorher mit einer "Waschlösung" (8 ml $\text{HNO}_{3\text{conc.}}$ aufgefüllt auf 50 ml mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$) durchgespült und getrocknet worden.

Die Lösungen der Serumproben wurden auf ihren Gehalt an Ca, Mg, Zn und Fe mit Flammen-Atomabsorptionsspektrophotometrie analysiert (AAS; Avanta® Atomic Absorption Spectrophotometer). Für die Mg-Analysen wurde die Lösung

10-fach mit SrCl_2 -Lösung verdünnt (0,5 % Sr = 15,2 g $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pro Liter) und für die Ca-Analysen wurde eine 5-fache Verdünnung mit einer etwas stärker konzentrierten SrCl_2 -Lösung (0,625 % Sr) verwendet, um eine Konzentration von circa 0,5 % Sr in der Endverdünnung zu gewährleisten. Für die Messung der einzelnen Elemente wurden die spezifischen Instrumentenbedingungen und die Wellenlängen verwendet, die in der Geräteanleitung (ANTANASOPOULOS, nicht datiert,a) für die maximale Sensitivität angegeben sind.

Die Bestimmung des Gesamt-P-Gehaltes wurde mit der unverdünnten Lösung mittels DCP-Atomemissionsspektrophotometrie durchgeführt (Direct Current Plasma Atomic Emission Spectrophotometry; SpectraSpan V[®] Emission Spectrometer). Der Gesamt-P-Gehalt wurde zusätzlich zur normalerweise üblichen Untersuchung auf den Gehalt an anorganischem PO_4 im Serum (siehe 3.2.1.2) bei 40 Serumproben bestimmt. Die 40 Proben waren gleichmäßig auf die 20 Straußengruppen verteilt.

Die Konzentrationen an Cu, Mn, Se, Cr und Co wurden nach zweifacher Verdünnung mit einer Indium-Lösung (= In-Lösung, wie in der Geräteanleitung beschrieben als interner Standard verwendet) mit Induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrophotometrie bestimmt (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrophotometry, ICP-MS; VG PlasmaQuad[®] PQ₂ Turbo Plus ICP-MS).

Die Na- und K-Analysen wurden unverdünnt mit einem Flammen-Photometer durchgeführt (Flame Photometer - Mod. IV, AutoAnalyzer[®]).

Beim Serum ist die Angabe von Elementkonzentrationen in Masse pro Volumeneinheit üblich. Bis auf die Elektrolyte werden die Konzentrationen aller im Serum untersuchten Elemente in mg/dl Serum angegeben. Die Konzentrationen der Elektrolyte (Na, K, Cl) werden im Unterschied dazu in mmol/l Serum angegeben, da dies allgemein üblich ist.

3.2.1.2 BESTIMMUNG VON ANORGANISCHEM PHOSPHAT IM SERUM

Es handelt sich um eine Modifikation der von HENRY, CANNON und WINKELMAN (1974) beschriebenen Methode zur Bestimmung von anorganischem Phosphat (anorg. PO_4) in Serum oder Plasma. Sie basiert auf einer Proteinausfällung und der Anfärbung des Überstands mit anschließender photometrischer Bestimmung der Farbintensität.

Herstellung der benötigten Reagenzien und des Phosphat-Standards:

- TCA (stabilisierte Eisen-Trichloressigsäure, iron trichloroacetic acid):

50g Trichloressigsäure, 5g Thiourea und 15g Mohr's Salz ($\text{Fe(III)-Ammoniumsulfat-Hexahydrat}$) werden in 300ml deionisiertem Wasser ($\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$) aufgelöst, dann wird auf 500ml mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$ aufgefüllt und in einer braunen Flasche gelagert. Der sich nach etwa einer Woche absetzende Schwefel hat keinen Einfluss auf die Analysen.

- 0,0355 molares(M) Ammoniummolybdat:

Zu 200ml $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$ werden vorsichtig und unter Kühlung 45ml konzentrierte Schwefelsäure (H_2SO_4) zugefügt. 22g $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \times 12\text{H}_2\text{O}$ werden ebenfalls in 200ml $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$ gelöst. Die beiden Lösungen werden gemischt und auf 500ml mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$ aufgefüllt.

- Standardlösung für anorganisches Phosphat, Konzentration 1,13 mmol/l:

Trockenes KH_2PO_4 wird für 1 h bei 110°C getrocknet. 0,220 g werden in ein volumetrisches 1l-Gefäß gegeben, ein paar Tropfen Chloroform (als Präservativ) beigelegt, mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$ auf 1 l aufgefüllt und in einer Polyethylenflasche gelagert. Standard- und TCA-Lösung werden vor dem Gebrauch mit einem aschefreien Papierfilter (Whatman®) gefiltert.

ARBEITSPROZESS

Zu jeweils 0,2 ml $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$ (Nullkontrolle), Standardlösung oder Serum werden 5,0 ml TCA gegeben, die 10ml-Reagenzgläser mit einem Polypropylenstopfen

verschlossen und mit Hilfe eines Vortex-Mixers (Ika-Vibro 6®) gemischt, dann 10 min stehengelassen. Nach dem anschließenden Zentrifugieren (10 min; 2000 rpm = Umdrehungen/min, Radius 18,5 cm; entspricht einer relativen Zentrifugalkraft von etwa 850 g) wird der klare Überstand in neue Reagenzgläser dekantiert und je 0,5 ml 0,0355M Ammonium-Molybdat-Lösung zugegeben. Wieder wird mit dem Vortex-Mixer (Ika-Vibro 6®) gemischt. Danach bleiben die fertigen Lösungen für weitere 20 min stehen, um dann innerhalb von 1,5 h gemessen zu werden.

Die Absorption (Abs.) wird bei einer Wellenlänge von 660nm bei einer Spaltweite von 2 nm mit einem UV-Spektrophotometer gemessen (UV-visible recording spectrophotometer Shimadzu UV-260) und auf drei Stellen hinter dem Komma gerundet abgelesen. Auf Sauberkeit der Kuvette und regelmäßige Überprüfung der Nullproben und der Standardlösung muß geachtet werden.

Formel für die Kalkulation der Konzentration (Konz.) an anorg. PO_4 in Serum:

$\text{Konz. anorg. PO}_4 (\text{mmol/l}) = (\text{Abs. Serumprobe}) : (\text{Abs. Standard}) \times (\text{Konz. Standard})$

(Im Anschluß wurden die Ergebnisse in mg/dl umgerechnet, siehe 9.1).

3.2.1.3 BESTIMMUNG VON CHLORID IM SERUM

Zur Bestimmung der Chlorid-Konzentration wurde eine 1000-fache Serumverdünnung mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$ hergestellt (1:1000, Serum : $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$). Diese wurde mit einem Ionen-Chromatograph mit Anionen-Austauschsäule und Leitfähigkeitsdetektor analysiert (Dionex DX 120 ion chromatograph, AS4A -SC 4 mm anion exchange column). Durch die Verdünnung des Serums mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$ wird genau genommen wasserlösliches Chlorid gemessen, das aber dem Gesamt-Chlorid im Serum entspricht, da ansonsten ein Niederschlag oder eine Trübung bei der Serumverdünnung entstanden wäre, was nicht der Fall war. Nur 40 Serumproben wurden auf ihre Cl-Konzentrationen untersucht. Sie waren gleichmäßig auf die 20 Straußengruppen verteilt.

3.2.2 Chemischer Aufschluß des Vollbluts und anschließende Analysen

In Tabelle 24 ist zusammengefaßt, von welchen Elementen die Konzentrationen im Vollblut bei wie vielen Proben mit welcher Methode ermittelt wurden.

Tabelle 24: Im Vollblut bestimmte Elemente, Anzahl der Proben und verwendete Methode

Element	Konz. bestimmt	Anzahl untersuchter Proben	Verwendete Analysenmethode
Mg, Fe	ja	63	Flammen-Atomabsorptionsspektrophotometrie (AAS)
Se	ja	63	Induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrophotometrie (ICP-MS)
Ca, PO ₄ , P, Zn, Cu, Mn, Cr, Co, Na, K, Cl, Pb, As, Cd, Si, F, Al	nein	--	--

Die Methode für die chemische Verdauung des Vollbluts basiert auf denselben Methoden, die auch als Basis für die chemische Serumverdauung dienten (siehe 3.2.1.1).

Das heparinisierte Vollblut wurde in den Probenröhrchen nach dem Auftauen mit einem Vortex-Mixer gemischt (Ika-Vibro 6[®]), um Homogenität zu erreichen (Vollbluttemperatur entsprach der Raumtemperatur von etwa 20°C). Die Zerstörung der Zellen hierbei war für den weiteren Verdauungsprozeß hilfreich. Zwischen 2,0 und 8,7 g Blut wurden durch Gewichtssubtraktion in die Borosilikatglas-Reagenzgläser (25 x 250 mm) abgewogen. Zur Gewichtssubtraktion wurde das Blutprobenröhrchen vor und nach dem Ausgießen der zur Verdauung bestimmten Blutmenge auf $\pm 0,0001$ g gewogen und davon das Gewicht der Verdauungsprobe berechnet (Sartorius[®], Mod. 1872). Die Menge des zu verdauenden Blutes hing einerseits von der verfügbaren Menge der jeweiligen Probe ab, variierte aber andererseits vor allem dadurch, daß die zu verdauende

Menge Blut auf einmal in das Reagenzglas gegossen wurde. War dabei etwas mehr als erwünscht ins Reagenzglas transferiert worden, konnte dies nicht mehr zurückgegossen werden, ohne dabei einen Verlust der Wägegenauigkeit zu riskieren. Dadurch kam die große Spanne an Blutgewichten zustande. Für zukünftige Untersuchungen wäre es aber ratsam, ein Gewicht von 2-5 g anzustreben, da dann die Zeit für den Verdauungsprozeß in engeren Grenzen gehalten werden kann. Ein Minimum von 2,0 g sollte nicht unterschritten werden, um ausreichende Elementkonzentrationen in den Analysenlösungen zu gewährleisten. Eine volumetrische Abmessung wäre im Vergleich zum Serum zu ungenau, da Vollblut nach dem Frieren und Auftauen zu viele Zellbruchteile enthält, die ein exaktes Pipettieren behindern können.

Unterschiedliche Mengen an konzentrierter HNO_3 (65 %) wurden entsprechend der zu verdauenden Blutmenge zugegeben. Dabei wurde die Mindestmenge von 3,75 ml HNO_3 conc. pro g Blut im Verdauungsprozeß verwendet. Die folgenden Mengen an HNO_3 conc. wurden jeweils den entsprechenden Blutprobenmengen zugegeben: 8,0 ml HNO_3 conc. für 2,0 - 2,1 g Blut; 12,0 ml HNO_3 conc. für 2,5 - 3,3 g Blut; 16,0 ml HNO_3 conc. für 3,5 - 4,4 g Blut; 22,0 ml HNO_3 conc. für 4,6 - 5,8 g Blut; 28,0 ml HNO_3 conc. für 5,9 - 7,2 g Blut; 33,0 ml HNO_3 conc. für 7,9 - 8,7 g Blut.

Nach der Zugabe von HNO_3 conc. wurden die Reagenzgläser für eine Mindestzeit von 4 h stengelassen, sie können auch problemlos über Nacht stehen. Dann wurden die Reagenzgläser wie bei der Serumverdauung in den Heizblock (BD 20/40 Heater Unit) gestellt und in Schritten von 50 °C auf 140 °C (± 10 °C) erhitzt. Die Verdauungslösungen wurden bei dieser Temperatur gehalten bis eine klare Lösung ohne sichtbare Rückstände vorhanden war. Das dauerte je nach verdauter Blutmenge zwischen 1 h und 5 h. Die Proben mit einem Gewicht zwischen 2 und 3 g waren normalerweise innerhalb von 30 min verdaut (definitiv innerhalb einer Stunde), dann lag eine klare Lösung vor. Wichtig ist, zu prüfen, daß eine klare Lösung ohne Rückstände verbleibt, da ansonsten mit Interferenzen oder Verlusten bei den Messungen der Elementkonzentrationen gerechnet werden muß.

Anschließend wurden 2,0 ml $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$ zugegeben und die Reagenzgläser wurden für weitere 5 min in den Heizblock zurückgestellt. Nach Abkühlung wurde die Lösung in ein volumetrisches 50 ml- oder 100 ml-Gefäß gegossen und das Reagenzglas mehrfach mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$ in das volumetrische Gefäß hinein ausgespült. Bis zu einem Blutgewicht von 4,5 g wurde die Lösung in einem 50 ml-Gefäß auf 50,0 ml und bei mehr als 4,5 g Blutgewicht in einem 100 ml-Gefäß auf 100,0 ml mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$ aufgefüllt und danach gut gemischt. Um die Lösungen bis zur Analyse zu lagern, wurden sie mit demselben Filterprozeß wie bei der Serumverdauung beschrieben in gereinigte Polypropylen-Flaschen transferiert (siehe 3.2.1.1).

Die Mg-Analysen wurden mit AAS (Avanta[®] Atomic Absorption Spectrophotometer) nach einer 20-fachen Verdünnung mit SrCl_2 -Lösung durchgeführt (0,5 % Sr = 15,2 g $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pro Liter). Die Fe-Konzentrationen wurden mit AAS in der unverdünnten Lösung bestimmt. Die Se-Konzentrationen wurden nach zweifacher Verdünnung mit einer In-Lösung (wie in der Geräteanleitung beschrieben als interner Standard verwendet) mit ICP-MS gemessen (VG PlasmaQuad[®] PQ₂ Turbo Plus ICP-MS).

Es wurden nur 63 Vollblutproben der 202 Strauße dieser Untersuchung auf ihre Mg-, Fe- und Se-Konzentration untersucht. Dazu wurden aus jeder der 20 Gruppen 3 beliebige Proben genommen (Ausnahmen: Gruppe 1: 4 Proben, Gruppe 3: 5 Proben), um eine gleichmäßige Verteilung zu gewährleisten.

Die Vollblutwerte werden in mg/kg Blut angegeben, also im Gegensatz zum Serum bezogen auf die Masse. Dies ist notwendig, da eine ausreichend genaue Volumen-Messung der zur Analyse verwendeten Blutmenge aufgrund der deutlich visköseren Konsistenz von Vollblut sowie von Zellbruchteilen nach dem Frieren und Auftauen im Vergleich zu Serum nicht möglich ist.

3.2.3 Chemischer Aufschluß der Leberproben und anschließende Analysen

In Tabelle 25 ist zusammengefaßt, von welchen Elementen die Konzentrationen in den Leberproben bei wie vielen Proben mit welcher Methode ermittelt wurden.

Tabelle 25: In den Leberproben bestimmte Elemente, Zahl der Proben und verwendete Methode

Element	Konzentration bestimmt	Anzahl untersuchter Proben	Verwendete Analysenmethode
Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn	ja	202	Flammen-Atomabsorptionsspektrophotometrie (AAS)
Gesamt-P	ja	202	DCP-Atomemissionsspektrophotometrie (DCP-AES)
Se, Cr, Co, Pb, As, Cd	ja	202	Induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrophotometrie (ICP-MS)
PO ₄ , Na, K, Cl, Si, F, Al	nein	--	--

Die chemische Verdauungsmethode für die Leberproben basiert auf folgenden drei Methoden: ZASOSKI & BURAU (1977); HAVLIN & SOLTANPOUR (1980); HUANG & SCHULTE (1985).

Ein etwa 1,8 g wiegendes Stück einer Leberprobe wurde durch Abtragen der äußeren Schichten mit sauberer Skalpellklinge und Pinzette gewonnen. (Die äußeren Schichten von Gewebeproben werden bei der Lagerung in ungepuffertem, 4%igem Formalin zerstört. PO₄-gepuffertes Formalin konnte wegen der geplanten P-Analysen nicht verwendet werden). Die Probe wurde gewogen (Sartorius®, Mod. 1872) und in einem Abluft-Trockenofen (Term-o-mat®) bei 70 °C für 48 h getrocknet. Dies entsprach bei der Größe und Konsistenz der Proben einer Trocknung bis zu konstantem Gewicht, was in einem separaten Versuch bei stufenweisen Trocknungen bis zu einer Gesamtdauer von 96 bzw. 120 h überprüft worden war (siehe 3.2.6 und 4.1.3). Man ließ die Proben abkühlen

und wog sie wieder. Dann wurden sie nochmals 24 h unter denselben Bedingungen getrocknet, abgekühlt und gewogen. Die zweite Trocknung wurde durchgeführt, um zu gewährleisten, daß alle Proben bis zu konstantem Gewicht getrocknet worden waren. Der Feuchtigkeitsgehalt jeder Leberprobe wurde mit Hilfe der Masse dieser vor und nach dem Trocknen (2. Trockenwägung) ermittelt.

Die getrockneten Leberproben wurden in einem glasierten Porzellanmörser mit Pistill pulverisiert. Genau 0,400 g ($\pm 0,0001$ g) des Pulvers wurden in Borosilikatglas-Reagenzgläser (25 x 250 mm) abgewogen (Sartorius®, Mod. 1872). 5,0 ml konzentrierte Salpetersäure ($\text{HNO}_3_{\text{conc.}}$, 65 %) wurden zugegeben und das Ganze über Nacht stehengelassen. Dann wurden die Reagenzgläser in einen kalten Heizblock gestellt (BD 20/40 Heater Unit) und in Schritten von nicht mehr als 50 °C auf 120 °C erhitzt und bei dieser Temperatur für 2 h gehalten. Während die Reagenzgläser noch im Heizblock standen wurden 0,5 ml Wasserstoffperoxid (H_2O_2 , 30 %) zugegeben. Man ließ die Lösung abkühlen und danach wurde sie in ein volumetrisches 50 ml-Gefäß gegossen. Das Reagenzglas wurde mehrfach mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$ in das 50 ml-Gefäß hinein ausgespült und das Lösungsvolumen anschließend auf 50,0 ml mit $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$ aufgefüllt.

Zur Lagerung bis zu den Analysen wurden die Leberlösungen mit einem Papierfilter (Whatman®, No. 2) in gereinigte Polypropylen-Flaschen (siehe 3.2) gefiltert und verschlossen.

Die Leberlösungen wurde mit einem Atomabsorptionsspektrophotometer (Avanta® Atomic Absorption Spectrophotometer) durch Flammen-Atomabsorptionsspektrophotometrie (AAS) auf die Konzentration der Elemente Ca, Mg, Zn, Fe, Cu und Mn analysiert. Für die Messung der beiden Elemente Ca und Mg erfolgte eine weitere Verdünnung mit SrCl_2 -Lösung. Dazu wurde für die Mg-Bestimmung eine 10-fache Verdünnung mit SrCl_2 -Lösung (0,5 % Sr = 15,2 g $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pro Liter) verwendet und für die Ca-Bestimmung eine 2-fache Verdünnung mit einer doppelt so stark konzentrierten SrCl_2 -Lösung (1,0 % Sr; um eine Konzentration von circa 0,5 % Sr in der Endverdünnung zu erhalten). Bei der Messung der einzelnen

Elementkonzentrationen wurden die spezifischen Instrumentenbedingungen und die Wellenlängen verwendet, die in der Geräteanleitung (ANTANASOPOULOS, nicht datiert,a) für die maximale Sensitivität angegeben sind.

Der Gesamt-P-Gehalt wurde mit unverdünnter Lösung mittels DCP-Atomemissionsspektrophotometrie (Direct Current Plasma Atomic Emission Spectrophotometry; SpectraSpan V[®] Emission Spectrometer) unter Verwendung der in der Geräteanleitung empfohlenen Standard-Meßkonditionen bestimmt.

Se, Cr, Co, Pb, As und Cd wurden durch ICP-Massenspektrophotometrie (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrophotometry, ICP-MS) bestimmt, nach zweifacher Verdünnung mit einer In-Lösung (als internem Standard) und unter Verwendung der in der Geräteanleitung empfohlenen Standard-Meßkonditionen (VG PlasmaQuad[®] PQ₂ Turbo Plus ICP-MS).

Die Konzentrationen der verschiedenen Elemente in den Leberproben werden bezogen auf die Trockenmasse (mg/kg Trockenmasse) ausgedrückt.

3.2.4 Veraschung der Humeri und Lösung der Asche mit Säure

In Tabelle 26 ist zusammengefaßt, von welchen Elementen die Konzentrationen in der Knochenasche der Humeri bei wie vielen Proben mit welcher Methode ermittelt wurden.

Tabelle 26: In der Knochenasche bestimmte Elemente, Zahl der Proben und verwendete Methode

Element	Konzentration bestimmt	Anzahl untersucht. Proben	Verwendete Analysenmethode
Ca, Mg, Zn, Fe, Mn	ja	202	Flammen-Atomabsorptionsspektrophotometrie (AAS)
Gesamt-P	ja	202	Photometrie
Cu, Pb	ja	202	Induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrophotometrie (ICP-MS)
Si	geplant, nicht durchgeführt	0	Grund: Kontaminationsgefahr durch Si-haltige Glaswaren
F	ja	48	Ionometrie
Al	ja	40	Photometrie
PO ₄ , Se, Cr, Co, Na, K, Cl, As, Cd	nein	--	--

Die nun beschriebene Methode für die Lösung der Knochenasche basiert auf folgenden zwei Methoden: BESSINGER & BOSCH (1985); ANONYM (1990b).

Jeder frisch aufgetaute Humerus wurde bei Raumtemperatur (20 °C) ganz gewogen (Sartorius® 1203 MP) und in zwei Teile gebrochen (um eine bessere Trocknung, besonders des Knochenmarks, zu gewährleisten und um in die Porzellan-Veraschungsschalen zu passen). Auf eine chemische Entfettung der Humeri wurde aus Kostengründen verzichtet. Dann wurden die Humeri bei 70 °C mindestens 18 h oder bis sie sichtbar trocken war in einem Abluftofen getrocknet (Term-o-mat®) und nach Abkühlen erneut gewogen. Der Trockenmassegehalt der nicht fettfreien (d.h. nicht chemisch entfetteten) Humeri wurde anhand der Masse dieser vor und nach der Trocknung bestimmt. Die Veraschung erfolgte bei 600 °C in einem Veraschungsofen (Wild Barfield®) für mindestens 6 h bis rein weiße Knochenasche übrigblieb. Nach dem Abkühlen wurde die Asche wieder mit einer analytischen Waage gewogen (Sartorius®, Mod. 1872) und danach in einem glasierten Porzellanmörser mit Pistill pulverisiert. Der Rohaschegehalt der nicht

fettfreien Humeri wurde anhand der Masse dieser vor und nach der Veraschung berechnet.

Genau 0,200 g ($\pm 0,0001$ g) der Asche wurden in Borosilikatglas-Reagenzgläser (25 x 250 mm) abgewogen (Sartorius®, Mod. 1872). 10,0 ml einer 1:1 HCl:H₂O-Lösung (konzentrierte Salzsäure, HCl_{conc.}, 32% : H₂O_{deion.}) wurden zugegeben und das Ganze für 15-20 min stengelassen. Dann wurden weitere 10,0 ml derselben HCl:H₂O-Lösung hinzugefügt und die Reagenzgläser über Nacht stengelassen. Dann wurden 10,0 ml H₂O_{deion.} zugegeben. Die Reagenzgläser wurden in einen kalten Heizblock gestellt (BD 20/40 Heater Unit) und auf 120 °C erhitzt. Diese Temperatur wurde für 30 min gehalten, um eine komplette Lösung der Aschebestandteile zu gewährleisten (ohne eine Ionisierung), oder bis keine sichtbaren Rückstände mehr vorhanden waren. Falls Zweifel an der kompletten Lösung der Aschebestandteile bestehen, sollte die Lösung für weitere 10-15 min bei 120 °C gehalten werden. Nach dem Abkühlen wurde die Aschelösung auf 100,0 ml mit H₂O_{deion.} aufgefüllt.

Für die in sehr niedrigen Konzentrationen in der Knochenasche vorkommenden Spurenelemente Cu, Mn, Pb und Al wurde der gerade beschriebene Lösungsprozeß der Knochenascheproben mit 0,500 g ($\pm 0,0001$ g) Knochenasche in genau gleicher Weise wiederholt.

Auch hier erfolgte die Lagerung in verschlossenen, gereinigten Polypropylen-Flaschen (siehe 3.2). Ein Filtern der Lösung war nicht notwendig, da nach dem gerade beschriebenen Prozeß immer eine klare Flüssigkeit ohne jegliche Trübung, Schwebeteilchen, Präzipitat oder winzige Fetttröpfchen auf der Oberfläche übrigblieb.

Die Aschelösungen wurden mit AAS (Gerät und Meßbedingungen siehe 3.2.3) auf den Gehalt an Ca, Mg, Zn, Fe und Mn untersucht, auch hier erfolgte eine weitere Verdünnung für die Ca- und Mg-Analysen mit SrCl₂-Lösung (0,5 % Sr = 15,2 g SrCl₂·6H₂O pro Liter). Für die Ca-Analysen wurde eine 100-fache und für die Mg-

Analysen eine 20-fache Verdünnung erstellt. Zur Zn-, Fe- und Mn-Bestimmung wurde die unverdünnte Aschelösung verwendet.

Mit Hilfe eines automatisierten Photometers mit vorgeschalteter Farbreaktion der Proben, eines sogenannten "flow system" (San plus system®, Photometer 6250, Skalar und AutoAnalyzer® II), wurde der Gesamt-P-Gehalt der Aschelösungen analysiert. Dies geschah unter Anwendung der Molybdo-Vanadat-Farbreaktion nach einer von STECKEL und FLANNERY (1971) (sowie von ANONYM, 1990d) beschriebenen Methode. Gemessen wurde bei einer Wellenlänge von 420 nm.

Die Cu- und Pb-Konzentrationen wurden per ICP-MS (Gerät und Meßbedingungen siehe 3.2.3) gemessen. Hierzu wurde eine 2-fache Verdünnung mit einer In-Lösung (als internem Standard) verwendet.

Auf die geplanten Si-Analysen mußte wegen der bei der Lösung der Knochenasche verwendeten Borosilikat-Reagenzgläser verzichtet werden. Bei der Bestimmung der Si-Konzentration aus diesen Lösungen hätte mit Si-Kontaminationen gerechnet werden müssen. Geeignete, Si-freie Gefäße waren nicht vorhanden und nicht finanzierbar.

Die F-Analysen wurde vollständig separat durchgeführt. Die Lösung der Knochenascheproben fand genau nach der Methode von SINGER und ARMSTRONG (1968) statt. Die F-Konzentrationen wurden mit Hilfe eines Ionometers (Orion® ion specific meter) mit einer F-Elektrode bestimmt. Der F-Gehalt wurde nur bei 48 Humeri ermittelt. Diese waren gleichmäßig auf die 20 Straußengruppen verteilt (2 bzw. 3 Proben je Gruppe).

Die Al-Konzentration wurde unter Benutzung einer Farbreaktion mit Aluminon (Aurin-Tricarboxylsäure) mit Hilfe eines "flow system" und einem Photometer gemessen (San plus system®, Photometer 6250, Skalar und AutoAnalyzer® II). Hierzu wurde die Methode von BERTSCH et al. (1981) verwendet und folgendermaßen adaptiert: Um die Sensitivität bei der Bestimmung der sehr

niedrigen Al-Konzentrationen zu verbessern, wird eine Lösung mit 1000 mg/l P (P von H_3PO_4 stammend) und 2000 mg/l Ca (Ca von CaCO_3 stammend) in einer 10%-igen Salzsäurelösung (1:9; $\text{HCl}_{\text{conc.}}$, 32% : $\text{H}_2\text{O}_{\text{deion.}}$) für die Nullkalibrierung, die Spüllösung (Spülen zwischen den Proben) und als Verdünnungslösung für die Kalibrierungsstandards verwendet, damit Standard- und Probenlösungen dieselbe Grundmatrix besitzen. Nur bei 40 Humeri wurde der Al-Gehalt gemessen. Sie waren gleichmäßig auf die 20 Straußengruppen verteilt.

Der Rohaschegehalt der Humeri wird in % Rohasche im trockenen, nicht fettfreien Knochen ausgedrückt. Die in der Rohasche der Humeri bestimmten Elementkonzentrationen werden, je nach Element, entweder in % der Rohasche oder in mg/kg der Rohasche angegeben.

Berechnung des Ca:P-Verhältnisses in der Knochenasche:

Das Ca:P-Verhältnis in der Knochenasche der Humeri wird berechnet, indem die Ca-Konzentration in der Knochenasche des jeweiligen Humerus durch die P-Konzentration (Gesamt-P) in derselben geteilt wird. Die Einheit bei beiden Elementen ist %, das Ca:P-Verhältnis selbst wird ohne Einheit angegeben.

3.2.5 Überprüfung der Methoden und der Analysen

3.2.5.1 VERWENDUNG VON STANDARD REFERENCE MATERIAL®

Die Methoden für den chemischen Aufschluß der Serum-, Vollblut-, Leber- und Knochenproben, sowie die anschließenden Elementanalysen mit den verwendeten Instrumenten wurden anhand von Referenzmaterialien überprüft. Dabei wurde für die Elementbestimmungen in Serum, Vollblut, Leber und Knochen (mit Ausnahme von anorganischem PO_4 , siehe unten) Standard Reference Material® (SRM) des National Institute of Standards and Technology (NIST), Standard Reference Materials® Program, Gaithersburg, USA benutzt. Für das jeweilige SRM sind für bestimmte Elemente zertifizierte Konzentrationen mit den zu tolerierenden

Werteschwankungen angegeben. Zusätzlich sind für einige weitere Elemente nicht zertifizierte Konzentrationen (ohne Toleranzbereiche) angegeben. Folgende Typen von SRM wurden für das jeweilige Gewebe verwendet, die jeweils zertifizierten bzw. nicht zertifizierten und hier untersuchten Elemente sind aufgeführt:

- a) Serum und Vollblut: Standard Reference Material® 1598, Inorganic Constituents in Bovine Serum, Certificate of Analysis (ANONYM, nicht datiert,c)
Zertifizierte Elemente: Mg, Zn, Fe, Cu, Mn, Se, Cr, Co, K
Nicht Zertifizierte Elemente: Ca, Na
Elemente ohne SRM-Angaben: Gesamt-P, Cl, anorg. PO₄ (siehe unten)
- b) Leber: Standard Reference Material® 1577b, Bovine Liver, Certificate of Analysis (ANONYM, nicht datiert,b)
Zertifizierte Elemente: Ca, Gesamt-P, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn, Se, Pb, Cd
Nicht Zertifizierte Elemente: Co, As
Elemente ohne SRM-Angaben: Cr
- c) Knochenasche: Standard Reference Material® 1400, Bone Ash, Certificate of Analysis (ANONYM, nicht datiert,a)
Zertifizierte Elemente: Ca, Gesamt-P, Mg, Zn, Fe, Pb
Nicht Zertifizierte Elemente: Cu, Mn, F, Al, Si (geplant, aber nicht bestimmt)
Elemente ohne SRM-Angaben: keine

Beim chemischen Aufschluß der Serum-, Vollblut-, Leber- und Knochenproben und bei den anschließenden Konzentrationsbestimmungen der verschiedenen Elemente wurden direkt vor der ersten Probe und dann immer nach weiteren 12 Proben jeweils eine SRM-Probe zur Kontrolle integriert. Die SRM-Probe enthielt die gleiche Menge an SRM wie die bei den zu analysieren Gewebe-Proben verwendete Menge an Gewebe. Die SRM-Proben durchliefen genau den gleichen Prozeß wie die normalen Proben. Bei den in fast allen Fällen (siehe 3.2.1 bis 3.2.4) analysierten 202 Serum-, Leber- und Knochenasche-Proben liefen somit insgesamt 17 SRM-Proben zur Kontrolle mit. Bei den 63 analysierten Vollblut-Proben liefen insgesamt 6 SRM-Proben zur Kontrolle mit.

3.2.5.2 ANWENDUNG DER STANDARD-ADDITIONS-METHODE

Zur Kontrolle der bei der Konzentrationsbestimmung für anorganisches PO_4 im Serum verwendeten Methode und Geräte konnte das Standard Reference Material® 1598 nicht verwendet werden, da einerseits beim SRM® 1598 keine Werte hierfür angegeben sind und andererseits diese Untersuchung von den anderen Element-Untersuchungen völlig separat war. Statt dessen wurde die Standard-Additions-Methode in Form der mehrfachen Addition unterschiedlicher Mengen von Standardlösung angewandt (ANTANASOPOULOS, nicht datiert,b). Diese etablierte Kontrollmethode ist eine Alternative, wenn kein Referenzmaterial zur Verfügung steht. Hierbei wurden zu den als Bezugsprobe verwendeten 0,2 ml Standardlösung (siehe 3.2.1.2; Konzentration 1,13 mmol/l) folgende Mengen derselben Standardlösung dazugegeben (bei gleichgehaltenem Gesamtvolumen): 0,05 ml; 0,1 ml; 0,15 ml; 0,2 ml; 0,25 ml; 0,3 ml; 0,4 ml. Diese Standard-Addition wurde dreimal durchgeführt, dabei wurden jedes Mal je 5 Proben der ursprünglichen Menge an Standardlösung (0,2 ml) und je 3 Proben von jeder der genannten Additions-Proben (das heißt: $0,2 + 0,05 \text{ ml} = 0,25 \text{ ml}$ Standardlösung; $0,2 + 0,1 \text{ ml} = 0,3 \text{ ml}$ Standardlösung; etc.) verwendet. Die Absorption der Probenlösungen wurde auf die unter 3.2.1.2 beschriebene Weise mit demselben UV-Spektrophotometer gemessen.

Der Mittelwert der Absorptions-Ergebnisse jeder Additionsmenge der 3 Probenreihen (jeweils 9 Einzelergebnisse pro Additionsmenge) wurde berechnet, dann wurden diese Mittelwerte in ein Diagramm eingetragen (x-Achse: aus der Gesamt-Menge an Standardlösung in der Probe berechnete Soll-Konzentration an anorganischem Phosphat; y-Achse: photometrisch gemessene Absorption).

Für jede Einzelprobe wurde aus dem gemessenen Absorptionswert die Konzentration an anorganischem Phosphat berechnet. Sie stellte die Ist-Konzentration dar und wurde mit der Soll-Konzentration (berechnet aus der für die jeweilige Probe verwendeten Gesamt-Menge an Standard-Lösung) verglichen. Für den Vergleich der Replizierbarkeit der Soll-Konzentration der Standard-

Additionsproben durch die Ist-Konzentration konnten nur die Werte der Standard-Additionsmengen verwendet werden, deren Absorptionswerte innerhalb des mit Hilfe des oben genannten Diagramms ermittelten, akkuraten und akzeptablen Meßbereichs lagen (siehe 4.1.4.2).

3.2.6 Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts von frischen und Formalin-gelagerten Lebern

In einem separaten Versuch wurden insgesamt 53 Leberproben von Straußen mehrerer Straußenfarmen auf dem Straußenschlachthof in Onderstepoort genommen (an zwei Tagen). Bei diesen Proben wurde eine Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts als Frischproben und als Formalin-gelagerte Proben durchgeführt, sowie gleichzeitig die für eine Trocknung solcher Proben bis zu konstantem Gewicht notwendige Zeitspanne ermittelt. Die frischen Leberproben wurden auf eine Größe von 2-10 g zurechtgeschnitten und dann in zwei gleich große Stücke (Duplikate) mit einem Gewicht zwischen 1 g und 5 g (hauptsächlich 1-2 g) geteilt und direkt gewogen. Alle Wägungen bei dieser Untersuchung wurden auf zwei Stellen hinter dem Komma genau durchgeführt (Mettler PK 4800, DeltaRange®). Um ein sauberes Arbeiten zu gewährleisten, wurden die Proben auf kleine Papierecken gelegt und blieben beim gesamten Trocknungsprozeß und den Wägungen auf diesen. Die Papierecken wurden auf Gewichtsverlust beim Trocknen kontrolliert, wobei kein Gewichtsverlust feststellbar war.

Die eine Hälfte der Duplikat-Proben wurde zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehalts der frischen Proben direkt im Abluftofen (Term-o-mat®) bei 70 °C für 48 h getrocknet und nach Abkühlen gewogen (alle Proben ließ man vor jeder Wägung abkühlen). Danach wurden sie für weitere 48 h bei derselben Temperatur getrocknet, wieder gewogen und nochmals 24 h bei 70 °C getrocknet und wiederum gewogen (Trocknungsdauer insgesamt 120 h).

Die andere Hälfte der Duplikat-Proben wurde in den auch für die anderen Leberproben verwendeten Plastik-Probengläschen (siehe 3.1.6.4) in 4%-igem, ungepuffertem Formalin gelagert. Die Proben wurden insgesamt 18 Tage so aufbewahrt und an den Tagen 4, 7, 11, 14 und 18 gewogen. (Dazu wurden sie aus dem Plastik-Probengläschen herausgenommen, die Oberfläche wurde vorsichtig mit einem Papiertuch trockengetupft, sie wurden gewogen und wieder in das 4%-ige, ungepufferte Formalin im Plastik-Probengläschen zurückgelegt). Dann wurden auch sie bei 70 °C für 48 h im selben Abluftofen getrocknet und danach gewogen. Anschließend wurden sie weitere 24 h getrocknet, wieder gewogen und nochmals 24 h getrocknet und ein letztes Mal gewogen (Trocknungsdauer insgesamt 96 h).

Es wurden drei verschiedene "Feuchtigkeitsgehalte" bestimmt und folgendermaßen berechnet:

- 1) Einerseits wurde der Feuchtigkeitsgehalt der direkt getrockneten Frischproben durch die Differenz zwischen Frisch- und Trockenmasse bestimmt.
- 2) Andererseits wurde der Feuchtigkeitsgehalt der in Formalin gelagerten Leberproben bestimmt, bezogen auf die Feuchtmasse bei der Herausnahme aus dem Formalin nach 18 Tagen Lagerung. Hierzu wurde die Differenz zwischen Feucht- und Trockenmasse berechnet.
- 3) Zusätzlich wurde bei den Formalin-gelagerten Proben der Feuchtigkeitsgehalt durch die Differenz zwischen der Frischmasse direkt vor der Formalin-Lagerung und der Trockenmasse berechnet. Diese Methode der Berechnung des Feuchtigkeitsgehalts ist unüblich und es sollte nur gezeigt werden, daß auch die damit berechneten Feuchtigkeitsgehalte von Leberproben mit den mit üblichen Methoden erhaltenen vergleichbar sind.

Anhand der gewonnenen Werte wurde kontrolliert, ob signifikante Unterschiede (t-Test, Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,05$) zwischen den nach den drei beschriebenen Methoden ermittelten Werten vorhanden waren.

4. ERGEBNISSE

Tabelle 27 zeigt die für das jeweilige Element und das jeweilige Gewebe untersuchte Probenzahl und die dabei verwendete Analysen-Methode.

Tabelle 27: Probenzahl und Methode für die im jeweiligen Gewebe untersuchten Elemente

Element	Anzahl und Methode bei untersuchten Serum -Proben	Anzahl und Methode bei untersuchten Leber -Proben	Anzahl u. Methode bei untersuchten Knochenasche -Proben (Humeri)	Anzahl und Methode bei untersuchten Vollblut -Proben
Ca	202 / AAS	202 / AAS	202 / AAS	--
Gesamt-P	40 / DCP-AES	202 / DCP-AES	202 / Photom.	--
anorg. PO ₄	202 / Photom.	--	--	--
Mg	202 / AAS	202 / AAS	202 / AAS	63 / AAS
Zn	202 / AAS	202 / AAS	202 / AAS	--
Fe	202 / AAS	202 / AAS	202 / AAS	63 / AAS
Cu	202 / ICP-MS	202 / AAS	202 / ICP-MS	--
Mn	202 / ICP-MS	202 / AAS	202 / AAS	--
Se	202 / ICP-MS	202 / ICP-MS	--	63 / ICP-MS
Cr	202 / ICP-MS	202 / ICP-MS	--	--
Co	202 / ICP-MS	202 / ICP-MS	--	--
Na	202 / Photom.	--	--	--
K	202 / Photom.	--	--	--
Cl	40 / Ion.-Chr.	--	--	--
Pb	--	202 / ICP-MS	202 / ICP-MS	--
As	--	202 / ICP-MS	--	--
Cd	--	202 / ICP-MS	--	--
Si	--	--	0 *	--
F	--	--	48 / Ionom.	--
Al	--	--	40 / Photom.	--

Abkürzungen: -- = Konzentrationsbestimmung für dieses Element in diesem Gewebe nicht geplant und nicht durchgeführt; * = wegen Kontaminationsgefahr nicht durchgeführt; AAS = Flammen-Atomabsorptionsspektrophotometrie; DCP-AES = DCP-Atomemissionsspektrophotometrie; ICP-MS = Induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrophotometrie; Photom. = Photometrie; Ion.-Chr. = Ionen-Chromatographie; Ionom. = Ionometrie

Zusätzlich wurden bei den Untersuchungen noch folgende Daten ermittelt:

- Die Serum-Dichte
- Der Feuchtigkeitsgehalt der Formalin-gelagerten Leberproben
- Der Trockenmassegehalt der Humeri
- Der Rohaschegehalt der Humeri
- Das Ca:P-Verhältnis in der Knochenasche der Humeri

In einem zusätzlichen Versuch wurde bei 53 Leberproben von Straußen einerseits der Feuchtigkeitsgehalt der Frischproben und andererseits der Feuchtigkeitsgehalt nach Formalin-Lagerung (18 Tage) bestimmt.

Zu den verschiedenen Einheiten, die bei den im folgenden präsentierten Ergebnissen verwendet wurden, siehe auch die Erläuterungen unter 2.2.1.

4.1 Vorversuche sowie Methoden- und Analysenkontrolle

4.1.1 EIGNUNG VERSCHIEDENER BLUTPROBENRÖHRCHEN ZUR SERUMGEWINNUNG

In Tabelle 28 ist die Eignung verschiedener Blutprobenröhrchen für die Serumgewinnung präsentiert. Für die Serumgewinnung in der eigentlichen Untersuchung dieser Arbeit wurden dann die Polytop®-Röhrchen, 30ml, aus Glas (unbeschichtet, unsteril) mit flachem Boden und Polypropylenstopfen benutzt.

Tabelle 28: Eignung der getesteten Röhrchen für die Serumgewinnung

Röhrchen-Typ (jeweils n = 5 getestet)	Verbindung Blutkoagel - Röhrchen- wand	Optische Verfärbung des Serums (Vergleich zwischen Röhrchen)	Menge brauchbaren Serums	Eignung zur Serumgewinnung
Normale 10 ml Blutprobenröhrchen, Glas, runder Boden, innen siliconbeschichtet	sehr leicht zu lösen	praktisch nie vorkommend	2 - 4 ml	sehr gut
Polytop®-Röhrchen, 30ml, Glas, flacher Boden	leicht zu lösen	praktisch nie vorkommend	6 - 10 ml	sehr gut
Zentrifugenröhrchen aus Polypropylen, 50ml, konischer Boden	schwer zu lösen	regelmäßig vorkommend	6 - 12 ml	bedingt
Zentrifugenröhrchen aus Polystyren, 30ml, konischer Boden	schwer zu lösen	regelmäßig vorkommend	4 - 8 ml	bedingt

4.1.2 VERGLEICH DER FEUCHTIGKEITSGEHALTE VON SEPARAT UNTERSUCHTEN, FRISCHEN BEZIEHUNGSWEISE FORMALIN- GELAGERTEN LEBERPROBEN

Der Vergleich der drei verschiedenen "Feuchtigkeitsgehalte" (Feuchtigkeitsgehalt der direkt getrockneten Frischproben; Feuchtigkeitsgehalt der in Formalin gelagerten Leberproben, bezogen auf die Feuchtmasse nach der Formalin-Lagerung; Feuchtigkeitsgehalt der in Formalin gelagerten Leberproben, bezogen auf die Frischmasse vor der Formalin-Lagerung) ist in Tabelle 29 präsentiert.

Die Unterschiede zwischen den nach den drei beschriebenen Methoden ermittelten Einzelwerten (nicht in Tabelle 29 aufgeführt), deren Mittelwerten sowie der Minima und Maxima der Spannweiten sind nicht signifikant (t-Test, Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,05$).

Tabelle 29: Verschiedene Feuchtigkeitsgehalte der separat untersuchten Leberproben (n = 53)

Gemesse- ner Feuchtig- keitsgehalt	Feuchtigkeits- gehalt Frischproben	Feuchtigkeitsgehalt Formalin-gelagerte Proben (bezogen auf die Feuchtmasse nach der Lagerung)	Feuchtigkeitsgehalt Formalin-gelagerte Proben (bezogen auf die Frischmasse vor der Lagerung)	Unterschiede zwischen \bar{x} -Werten, Minima bzw. Maxima
Einheit	%	%	%	
\bar{x}	70,2	70,8	70,6	n.s.
s	$\pm 2,6$	$\pm 2,3$	$\pm 2,4$	
R	59,5 - 73,9	61,6 - 75,0	59,9 - 74,3	n.s.
Abkürzungen: \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung; R = Spannweite; n.s. = nicht signifikant (t-Test, Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,05$)				

4.1.3 BESTIMMUNG DER TROCKNUNGSDAUER FÜR FRISCHE UND FORMALIN-GELAGERTE LEBERPROBEN

Verschiedene Zeitspannen bei der Trocknung von frischen und Formalin-gelagerten Leberproben mit einer Masse von 1-2 g bei einer Temperatur von 70 °C in einem Abluftofen sind in Tabelle 30 dargestellt, sowie die Minstdauer für die Trocknung bis zum konstantem Gewicht der Proben.

Ab einer Probenmasse von etwa 3 g oder mehr kam es sowohl bei frischen, als auch bei Formalin-gelagerten Leberproben in zunehmendem Maße vor, daß bei der zweiten, den ersten 48 h folgenden Trocknungsphase nochmals ein (dann geringerer) Gewichtsverlust gemessen wurde. Eine Probenmasse von 2 g (maximal 2,5 g) sollte also nicht überschritten werden, wenn Leberproben für 48 h (oder länger) unter den genannten Trocknungsbedingungen getrocknet werden sollen und eine Trocknung bis zu konstantem Gewicht angenommen werden soll.

Tabelle 30: Trocknungsdauer bei frischen und Formalin-gelagerten Leberproben

FrISCHE Leberproben (Masse: 1-2 g; n = 53)			
Zeitspanne im Trocknungsprozeß	0 - 48 h	48 - 96 h	96 - 120 h
Gewichtsverlust	ja	nein	nein
Minstdauer für die Trocknung bis zu konstantem Gewicht: 48 h			
In Formalin gelagerte Leberproben (Masse: 1-2 g; n = 53)			
Zeitspanne im Trocknungsprozeß	0 - 48 h	48 - 72 h	72 - 96 h
Gewichtsverlust	ja	nein	nein
Minstdauer für die Trocknung bis zu konstantem Gewicht: 48 h			

4.1.4 KONTROLLE DER METHODEN UND DER ANALYSEN

4.1.4.1 KONTROLLE MIT HILFE VON STANDARD REFERENCE MATERIAL®

Die Ergebnisse der Proben vor und nach einer SRM-Probe (Standard Reference Material®) wurden für Elemente mit zertifizierten Konzentrationen nur akzeptiert, wenn das Ergebnis der Elementanalysen innerhalb der vom National Institute of Standards and Technology (NIST) angegebenen Toleranzbereiche oder um maximal 1 % darunter oder darüber lag. Andernfalls wurden diese 24 Proben mit weiteren SRM-Proben wiederholt (bis die SRM-Werte innerhalb der gerade genannten Grenzen lagen). Für die Elemente mit nicht zertifizierten, aber trotzdem angegebenen Konzentrationen wurden als Toleranzgrenzen 10 % unter und 10 % über dem angegebenen SRM-Wert festgelegt (der SRM-Wert ist, da nicht zertifiziert, ohne Toleranzbereich angegeben). Auch diese Proben wurden bei Nichterfüllung zusammen mit weiteren SRM-Proben wiederholt.

Für die Konzentrationen der Elemente Gesamt-P und Cl im Serum sowie Cr in der Leber gab es keine Konzentrationsangaben zum jeweiligen SRM (siehe 3.2.5.1;

auch für anorganisches PO_4 im Serum gab es keine Angaben, hierzu siehe 4.1.4.2). Hier konnte nur angenommen werden, daß - nachdem alle anderen untersuchten Elemente im vorgegebenen Rahmen lagen - von diesen drei genannten Elementen ebenfalls korrekte Konzentrationen gemessen wurden. Der Wert der Ergebnisse dieser drei Elemente als Referenzwerte wird durch die nicht vorhandenen Angaben zu ihren SRM-Konzentrationen herabgesetzt, was beim Gesamt-P und Cl im Serum durch die geringe Zahl von nur je 40 Konzentrationsbestimmungen noch verstärkt wird. Aus finanziellen Gründen bestand jedoch keine Möglichkeit, zusätzliches Referenzmaterial einzusetzen, außerdem war Serum-Referenzmaterial mit zertifizierten Konzentrationen von Gesamt-P bzw. Cl praktisch nicht erhältlich. Dasselbe galt für Cr in Bezug auf Leber-Referenzmaterial. Trotz Kenntnis davon vor Beginn der Analysen wurden diese drei Elemente als interessant und wichtig erachtet und deshalb mit untersucht.

4.1.4.2 KONTROLLE MIT HILFE DER STANDARD-ADDITIONS-METHODE

Maximale Phosphat-Konzentration in den Standard-Additions-Proben und in den Serumproben, die ohne Verdünnung akkurat gemessen werden kann:

Bei der Eintragung der mittleren Absorptions-Ergebnisse der verschiedenen Additions Mengen in das unter 3.2.5.2 beschriebene Diagramm und der Verbindung dieser Punkte ergab sich bis zur Standard-Additionsmenge von 0,2 ml (entspricht einer Gesamt-Konzentration an anorganischem Phosphat von $2,26 \text{ mmol/l} = 21,5 \text{ mg/dl}$) eine ansteigende Gerade, die sich bei höheren Standard-Additions Mengen (ab 0,25 ml erkennbar) nach oben krümmte. Die Standard-Additionsmenge, bei der sich die Gerade zu krümmen beginnt, liegt somit zwischen 0,2 und 0,25 ml. Die dieser Standard-Additionsmenge entsprechende Gesamt-Konzentration an anorganischem Phosphat ist die maximal akkurat bestimmbare Konzentration an anorganischem Phosphat in den Serumproben und liegt zwischen 2,26 und 2,54 mmol/l (entsprechend: 21,5 - 24,1 mg/dl). Als Grenze für eine Wiederholung der Serum-Analysen wurde infolgedessen eine

Konzentration von 20 mg/dl anorganischem Phosphat (bzw. die dieser Konzentration entsprechende Absorption) im Serum festgelegt. Dadurch bleibt genügend Differenz zum Bereich der Werteverfälschungen, der durch den Übergangspunkt Gerade - Krümmung markiert ist. Über einer Konzentration von 20 mg/dl liegende Werte waren nicht akzeptabel, da dieser Wertebereich zu hoch für die kolorimetrische Anfärbung und die Absorptionsmessung der entsprechenden Serumproben war. Bei allen Serumproben, die oberhalb der tolerablen Konzentrationsgrenze lagen, wurde die Analyse mit der Hälfte der Probenmenge nochmals wiederholt. Dadurch lagen die dann nur noch die halbe PO_4 -Konzentration enthaltenden Proben bei der photometrischen Messung ebenfalls unterhalb der maximalen, akkurat meßbaren Absorption. Insgesamt wurden 14 der Serum-Analysen auf diese Weise wiederholt.

Vergleich der gemessenen Ist-Phosphat-Konzentration mit der berechneten Soll-Phosphat-Konzentration der Standard-Additions-Proben:

Die aus der gemessenen Absorption berechnete Ist-Konzentration der Standard-Additions-Proben an PO_4 wurde mit deren Soll-Konzentration, die über die enthaltene Menge an Standardlösung berechnet wurde, verglichen. In Tabelle 31 ist der prozentuale Anteil der gemessenen Ist-Konzentration (in %) im Vergleich zum Sollwert (= 100%) der Gesamtkonzentration je Probe für die jeweilige Standard-Additionsmenge wiedergegeben. Eine Abweichung der Ist-Konzentration von 2,5 % nach oben oder unten von der berechneten Soll-Konzentration wurde toleriert; das heißt der Ist-Wert wurde akzeptiert, wenn er prozentual gesehen $100 \% \pm 2,5 \%$ des Soll-Werts betrug). Proben mit höherer Abweichung hätten zu einer Wiederholung der Additionsreihen geführt, was aber nicht der Fall war. Dieser Toleranzbereich galt nur für den oben beschriebenen, im Diagramm eine Gerade bildenden Konzentrations-Bereich. Die höher liegenden Konzentrationen der Standard-Additionen mußten bei dem Ist-Soll-Vergleich aufgrund der verfälschten Absorption und der dadurch verfälschten PO_4 -Konzentration von vornherein wegfallen.

Tabelle 31: Übereinstimmung der Ist- mit den Soll-Konzentrationen der Standard-Additionen

Proben- Nummer innerhalb der jeweiligen Additions- gruppe	Prozentualer Anteil gemessene Ist-Konzentration (in %) im Vergleich zum Sollwert (= 100%) für die Standard-Additionsmenge von:						
	0,05 ml (* 1,41 mmol/l)	0,1 ml (* 1,70 mmol/l)	0,15 ml (* 1,98 mmol/l)	0,2 ml (* 2,26 mmol/l)	0,25 ml (* 2,54 mmol/l)	0,3 ml (* 2,83 mmol/l)	0,4 ml (* 3,39 mmol/l)
1	98,1	97,8	99,3	99,5	101,8 [⊗]	Nicht für Ist-Soll- Vergleich verwendbar, da die PO ₄ - Konzentrationen dieser Proben außerhalb des akkuraten Absorptions- meßbereichs liegen (siehe Text oben und 3.2.5.2)	
2	99,9	99,4	100,5	100,1	102,8 [⊗]		
3	97,5	100,2	97,8	98,3	102,6 [⊗]		
4	99,0	98,0	98,2	97,7	102,2 [⊗]		
5	100,3	98,5	99,2	100,4	100,6 [⊗]		
6	98,8	100,6	100,2	99,0	102,0 [⊗]		
7	97,8	99,3	100,5	99,2	103,1 [⊗]		
8	100,4	98,2	98,8	100,1	101,4 [⊗]		
9	99,1	97,6	97,9	98,0	102,9 [⊗]		
̄x (Proben 1-9)	99,0	98,8	99,2	99,1	102,2 [⊗]		
Abkürzungen: * = entsprechende Soll-Gesamtkonzentration für jeweilige Standard-Additionsmenge (entspricht 0,2 ml Standardlösung + jeweils addierte Menge an Standardlösung; [⊗] = Werte nicht verwendbar, da die PO ₄ -Konzentrationen schon außerhalb des akkuraten Absorptionsmeßbereichs (siehe Text oben und 3.2.5.2) liegen, die Proben Nr. 2, 3, 7, 9 liegen außerdem außerhalb der Toleranzgrenzen von 100 ± 2,5 %; ̄x = arithmetischer Mittelwert							

4.2 Analysen der Serumproben

4.2.1 DICHTe DER SERUMPROBEN

Der arithmetische Mittelwert, die Standardabweichung und die Werte-Spannweite der Dichte der Serumproben sind für jede der 20 Gruppen sowie für die Gesamtgruppe aller untersuchten Strauße (Gruppe 1-20 = 202 Tiere) in Tabelle 32

präsentiert. Außerdem wurden für die Gesamtgruppe noch das 2,5%-Quantil und das 97,5%-Quantil des 95%-Referenzbereichs berechnet. Die Dichte der Serumproben ist in g/ml (= g/cm³) angegeben.

Tabelle 32: **Dichte** der Serumproben der Strauße

Gruppe	n	\bar{x} (g/ml)	s (g/ml)	R (g/ml)	Bemerkungen
1	6	1,045	± 0,024	1,010 - 1,077	
2	10	1,105	± 0,057	1,033 - 1,176	bei 4 Serumproben keine Dichte bestimmt (siehe 3.2.1.1)
3	10	1,069	± 0,041	1,026 - 1,125	bei 6 Serumproben keine Dichte bestimmt (siehe 3.2.1.1)
4	12	1,092	± 0,043	1,002 - 1,176	
5	12	1,101	± 0,028	1,041 - 1,134	
6	12	1,090	± 0,030	1,043 - 1,137	
7	10	1,100	± 0,044	1,001 - 1,149	
8	10	1,102	± 0,029	1,063 - 1,130	
9	10	1,087	± 0,033	1,040 - 1,143	
10	10	1,081	± 0,042	1,023 - 1,129	
11	10	1,074	± 0,053	1,001 - 1,198	
12	10	1,072	± 0,040	1,005 - 1,140	
13	10	1,080	± 0,045	1,010 - 1,167	
14	10	1,069	± 0,038	1,000 - 1,129	
15	10	1,051	± 0,040	1,006 - 1,157	
16	10	1,052	± 0,041	1,007 - 1,136	
17	10	1,089	± 0,038	1,019 - 1,173	
18	10	1,069	± 0,047	1,004 - 1,138	
19	10	1,039	± 0,019	1,009 - 1,066	
20	10	1,035	± 0,048	1,006 - 1,177	
Gesamtgruppe (Gruppe 1-20)	202	1,076	± 0,044	1,000 - 1,198	<u>95%-Referenzbereich:</u> 1,004 - 1,169 g/ml
Abkürzungen: n = Gruppengröße; \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung; R = Spannweite; 95%-Referenzbereich = 2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil					

4.2.2 MINERAL- UND SPURENELEMENTGEHALTE IM SERUM

Bis auf Na, K und Cl sind alle in den Serumproben untersuchten Elemente in mg/dl Serum angegeben. Die Elektrolyte Na, K und Cl sind in mmol/l Serum angegeben.

Der arithmetische Mittelwert, die Standardabweichung und die Werte-Spannweite der Elementkonzentrationen in den Serumproben sind für jede der 20 Gruppen sowie für die Gesamtgruppe aller untersuchten Strauße (Gruppe 1-20 = 202 Tiere) in Tabelle 33 bis 39 präsentiert. Außerdem sind für die Elementwerte der Gesamtgruppe noch das 2,5%-Quantil und das 97,5%-Quantil des 95%-Referenzbereichs berechnet.

Folgende Tabellen enthalten die Werte der genannten Elemente:

Tabelle 33: Ca und anorganisches PO_4

Tabelle 34: Mg und Zn

Tabelle 35: Fe und Cu

Tabelle 36: Mn und Se

Tabelle 37: Cr und Co

Tabelle 38: Na und K

Tabelle 39: Cl und Gesamt-P

		Mg			Zn		
Einheit		mg/dl			mg/dl		
Gruppe	n	\bar{x}	s	R	\bar{x}	s	R
1	6	5,41	± 0,59	4,80 - 6,26	0,204	± 0,095	0,098 - 0,355
2	10	4,86	± 0,79	4,01 - 6,10	0,221	± 0,082	0,096 - 0,374
3	10	4,91	± 1,43	1,89 - 6,30	0,254	± 0,132	0,099 - 0,524
4	12	5,36	± 0,60	4,70 - 6,40	0,188	± 0,057	0,092 - 0,287
5	12	5,73	± 0,57	4,90 - 6,64	0,163	± 0,035	0,095 - 0,230
6	12	5,64	± 0,26	5,30 - 6,00	0,176	± 0,061	0,084 - 0,307
7	10	4,41	± 0,77	3,29 - 5,51	0,122	± 0,175	0,013 - 0,637
8	10	5,49	± 0,70	4,60 - 6,73	0,219	± 0,202	0,025 - 0,663
9	10	4,86	± 0,97	3,19 - 6,14	0,192	± 0,112	0,051 - 0,465
10	10	5,42	± 0,94	3,61 - 6,88	0,146	± 0,103	0,044 - 0,364
11	10	4,44	± 0,60	3,66 - 5,40	0,152	± 0,058	0,079 - 0,276
12	10	5,15	± 1,00	3,82 - 6,98	0,133	± 0,042	0,067 - 0,222
13	10	5,08	± 0,42	4,52 - 5,72	0,133	± 0,098	0,042 - 0,392
14	10	5,29	± 0,87	4,29 - 6,64	0,154	± 0,111	0,025 - 0,440
15	10	4,98	± 1,06	3,64 - 6,61	0,183	± 0,048	0,053 - 0,230
16	10	3,93	± 1,70	1,37 - 6,82	0,132	± 0,065	0,015 - 0,249
17	10	5,94	± 0,50	5,09 - 6,78	0,160	± 0,059	0,079 - 0,253
18	10	5,95	± 0,92	4,31 - 6,93	0,137	± 0,072	0,011 - 0,281
19	10	5,09	± 0,66	3,80 - 6,08	0,060	± 0,042	0,015 - 0,138
20	10	5,53	± 0,64	4,65 - 6,58	0,126	± 0,079	0,027 - 0,315
Gesamt- gruppe (Gruppe 1-20)	202	5,17	± 1,01	1,37 - 6,98	0,162	± 0,104	0,011 - 0,663
	202	95%-Referenzbereich: 3,25 - 6,80 mg/dl			95%-Referenzbereich: 0,020 - 0,441 mg/dl		

Abkürzungen: n = Gruppengröße; \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung;
R = Spannweite; 95%-Referenzbereich = 2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil

Tabelle 39: Konzentration von **Chlorid** und **Gesamt-Phosphor** im Serum von 40 Straußen

		Cl			Gesamt-P		
Einheit		mmol/l			mg/dl		
Gruppe	n	\bar{x}	s	R	\bar{x}	s	R
1 - 20	2	*	*	*	*	*	*
Strauße aus den Gruppen 1 - 20	40	127	± 13	104 - 162	15,0	± 3,7	9,3 - 24,9
	40	95%-Referenzbereich: 104 - 155 mmol/l			95%-Referenzbereich: 9,8 - 22,4 mg/dl		

Abkürzungen: n = Gruppengröße; \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung;
R = Spannweite; 95%-Referenzbereich = 2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil;
* = Gruppengröße zu klein für eine aussagekräftige Statistik

4.3 Analysen der Leberproben

4.3.1 FEUCHTIGKEITSGEHALT DER LEBERPROBEN

Der arithmetische Mittelwert, die Standardabweichung und die Werte-Spannweite des Feuchtigkeitsgehalts der Leberproben sind für jede der 20 Gruppen sowie für die Gesamtgruppe aller untersuchten Strauße (Gruppe 1-20 = 202 Tiere) in Tabelle 40 präsentiert. Außerdem sind für die Leber-Feuchtigkeitsgehalte der Gesamtgruppe noch das 2,5%-Quantil und das 97,5%-Quantil des 95%-Referenzbereichs berechnet. Der Feuchtigkeitsgehalt der Lebern ist in % angegeben.

Bei allen Leberproben betrug der Unterschied zwischen der Wägung nach 48 h Trocknen und der zweiten Wägung nach weiteren 24 h Trocknen weniger als 0,1 %, wenn überhaupt ein Unterschied vorhanden war.

Aus den Feuchtigkeitsgehalten der Lebern können die Trockenmassegehalte der Lebern berechnet werden. Die Formel hierfür lautet:

$$100 \% - \text{Feuchtigkeitsgehalt Leber (\%)} = \text{Trockenmassegehalt Leber (\%)}$$

Somit lag der Trockenmassegehalt der Leberproben der 202 Strauße im arithmetischen Mittel bei 28,6 % mit einer Standardabweichung von $\pm 2,5$ %. Die Spannweite der Trockenmassegehalte reichte von 24,1 % bis 39,2 %.

Tabelle 40: Feuchtigkeitsgehalt der Lebern der Strauße

Gruppe	n	\bar{x} (%)	s (%)	R (%)
1	6	73,1	± 0,9	72,4 - 75,0
2	10	72,7	± 1,3	70,6 - 74,3
3	10	71,1	± 1,5	68,4 - 73,3
4	12	73,0	± 1,2	71,6 - 75,5
5	12	71,3	± 1,9	68,6 - 75,1
6	12	72,2	± 1,7	69,4 - 75,0
7	10	73,0	± 2,2	67,5 - 75,8
8	10	73,1	± 1,3	71,5 - 75,9
9	10	72,9	± 0,8	72,0 - 74,5
10	10	74,0	± 1,1	71,8 - 75,6
11	10	69,8	± 1,5	67,7 - 72,7
12	10	70,6	± 1,0	68,7 - 72,8
13	10	70,9	± 1,4	68,2 - 72,6
14	10	71,2	± 1,7	66,6 - 72,9
15	10	72,4	± 0,6	71,8 - 73,5
16	10	72,0	± 1,5	68,1 - 73,7
17	10	70,4	± 2,0	65,9 - 72,9
18	10	66,6	± 4,3	60,8 - 72,3
19	10	68,0	± 2,9	63,7 - 72,6
20	10	69,5	± 1,4	68,0 - 72,5
Gesamtgruppe (Gruppe 1-20)	202	71,4	± 2,5	60,8 - 75,9
	202	95%-Referenzbereich: 65,4 - 75,1 %		
Abkürzungen: n = Gruppengröße; \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung; R = Spannweite; 95%-Referenzbereich = 2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil				

4.3.2 MINERAL- UND SPURENELEMENTGEHALTE DER LEBERPROBEN

Die Konzentrationen der verschiedenen Elemente in den Leberproben sind bezogen auf die Trockenmasse (mg/kg Trockenmasse) ausgedrückt.

Der arithmetische Mittelwert, die Standardabweichung und die Werte-Spannweite der Elementkonzentrationen in den Leberproben sind für jede der 20 Gruppen sowie für die Gesamtgruppe aller untersuchten Strauße (Gruppe 1-20 = 202 Tiere) in Tabelle 41 bis 47 präsentiert. Außerdem sind für die Elementwerte der Gesamtgruppe noch das 2,5%-Quantil und das 97,5%-Quantil des 95%-Referenzbereichs berechnet.

Folgende Tabellen enthalten die Werte der genannten Elemente:

Tabelle 41: Ca und Gesamt-P

Tabelle 42: Mg und Zn

Tabelle 43: Fe und Cu

Tabelle 44: Mn und Se

Tabelle 45: Cr und Co

Tabelle 46: Pb

Tabelle 47: As und Cd

Tabelle 41: Konzentration von **Kalzium** und **Gesamt-Phosphor** in den Lebern der Strauße
(bezogen auf die Trockenmasse der Leberproben)

		Ca			Gesamt-P		
Einheit		mg/kg			mg/kg		
Gruppe	n	\bar{x}	s	R	\bar{x}	s	R
1	6	147	± 33	122 - 218	4484	± 185	4254 - 4733
2	10	372	± 260	190 - 1086	6276	± 1065	4749 - 7703
3	10	443	± 447	148 - 1660	7742	± 1906	3340 - 10789
4	12	275	± 58	160 - 348	8337	± 1140	6904 - 10505
5	12	262	± 143	138 - 705	8653	± 1249	6570 - 11601
6	12	253	± 95	120 - 425	7273	± 1201	5319 - 9091
7	10	139	± 85	52 - 350	5981	± 968	3851 - 7977
8	10	101	± 77	32 - 284	6926	± 746	5576 - 8255
9	10	143	± 65	78 - 292	6577	± 842	5789 - 8731
10	10	581	± 354	141 - 1413	6522	± 494	5690 - 7405
11	10	411	± 169	234 - 821	7347	± 446	6752 - 8248
12	10	372	± 188	261 - 929	6878	± 828	5337 - 8082
13	10	237	± 50	150 - 316	8049	± 663	6658 - 9000
14	10	232	± 43	173 - 312	9102	± 791	7927 - 10616
15	10	241	± 52	185 - 350	8525	± 962	6091 - 10072
16	10	659	± 347	113 - 1246	8227	± 900	6639 - 10140
17	10	795	± 501	295 - 1873	8211	± 832	6935 - 10092
18	10	565	± 324	239 - 1230	6458	± 1698	2965 - 8517
19	10	446	± 440	130 - 1735	6703	± 575	5829 - 7632
20	10	345	± 98	202 - 484	7977	± 794	7131 - 10032
Gesamt- gruppe (Gruppe 1-20)	202	349	± 299	32 - 1873	7387	± 1435	2965 - 11601
	202	95%-Referenzbereich: 75 - 1231 mg/kg			95%-Referenzbereich: 4416 - 10093 mg/kg		

Abkürzungen: n = Gruppengröße; \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung;
R = Spannweite; 95%-Referenzbereich = 2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil

Tabelle 42: Konzentration von **Magnesium** und **Zink** in den Lebern der Strauße
(bezogen auf die Trockenmasse der Leberproben)

		Mg			Zn		
Einheit		mg/kg			mg/kg		
Gruppe	n	\bar{x}	s	R	\bar{x}	s	R
1	6	299	± 31	247 - 347	340	± 71	227 - 437
2	10	312	± 60	227 - 466	254	± 85	141 - 435
3	10	317	± 40	248 - 367	231	± 61	162 - 387
4	12	432	± 37	371 - 497	203	± 41	123 - 311
5	12	438	± 44	374 - 536	169	± 33	119 - 251
6	12	451	± 56	378 - 561	178	± 38	138 - 264
7	10	445	± 38	383 - 501	177	± 27	150 - 248
8	10	380	± 55	314 - 489	144	± 19	106 - 174
9	10	429	± 66	321 - 526	119	± 14	96 - 150
10	10	355	± 65	279 - 497	138	± 43	46 - 197
11	10	350	± 76	274 - 545	43	± 10	29 - 61
12	10	409	± 88	312 - 606	198	± 56	111 - 314
13	10	396	± 50	338 - 503	207	± 38	160 - 281
14	10	389	± 32	344 - 473	173	± 46	104 - 256
15	10	337	± 56	213 - 436	268	± 52	177 - 331
16	10	371	± 53	271 - 446	169	± 29	129 - 224
17	10	370	± 41	319 - 483	160	± 21	134 - 198
18	10	277	± 77	124 - 391	108	± 29	68 - 156
19	10	342	± 119	239 - 662	146	± 45	96 - 227
20	10	361	± 55	296 - 442	162	± 39	123 - 260
Gesamt- gruppe (Gruppe 1-20)	202	376	± 78	124 - 662	176	± 71	29 - 437
	202	95%-Referenzbereich: 239 - 536 mg/kg			95%-Referenzbereich: 45 - 340 mg/kg		

Abkürzungen: n = Gruppengröße; \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung;
R = Spannweite; 95%-Referenzbereich = 2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil

Tabelle 43: Konzentration von **Eisen** und **Kupfer** in den Lebern der Strauße
(bezogen auf die Trockenmasse der Leberproben)

		Fe			Cu		
Einheit		mg/kg			mg/kg		
Gruppe	n	\bar{x}	s	R	\bar{x}	s	R
1	6	3093	± 585	1801 - 3526	11,2	± 2,8	9,1 - 17,3
2	10	2674	± 824	711 - 4041	14,8	± 2,4	11,5 - 18,1
3	10	985	± 408	521 - 1926	18,2	± 4,6	10,4 - 26,3
4	12	4133	± 398	3186 - 4611	13,3	± 2,5	10,0 - 17,8
5	12	2109	± 1330	756 - 4426	8,8	± 1,4	6,6 - 11,6
6	12	2104	± 940	1021 - 3971	11,9	± 4,5	7,0 - 25,4
7	10	1602	± 450	986 - 2356	15,1	± 3,4	11,0 - 20,3
8	10	1279	± 576	615 - 2576	13,7	± 2,8	11,1 - 20,6
9	10	1942	± 653	1018 - 2976	17,1	± 2,3	13,0 - 22,3
10	10	952	± 182	536 - 1249	15,6	± 3,3	12,0 - 21,4
11	10	573	± 150	365 - 841	19,3	± 3,9	10,8 - 23,8
12	10	1772	± 1720	351 - 6461	15,3	± 3,0	12,3 - 22,3
13	10	1225	± 506	616 - 2056	13,2	± 3,2	11,0 - 22,4
14	10	1105	± 611	293 - 2634	19,1	± 2,9	15,9 - 25,5
15	10	1827	± 706	564 - 3036	18,6	± 3,5	13,5 - 23,5
16	10	957	± 494	497 - 2001	16,0	± 4,4	12,4 - 27,6
17	10	1090	± 401	683 - 1812	14,4	± 3,7	10,5 - 22,9
18	10	702	± 344	214 - 1350	14,6	± 4,7	7,4 - 23,1
19	10	1248	± 384	611 - 1956	10,9	± 3,0	6,4 - 18,3
20	10	499	± 226	157 - 914	15,9	± 3,0	13,3 - 24,1
Gesamt- gruppe (Gruppe 1-20)	202	1584	± 1135	157 - 6461	14,8	± 4,4	6,4 - 27,6
	202	95%-Referenzbereich: 350 - 4396 mg/kg			95%-Referenzbereich: 7,5 - 23,8 mg/kg		

Abkürzungen: n = Gruppengröße; \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung;
R = Spannweite; 95%-Referenzbereich = 2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil

Tabelle 45: Konzentration von **Chrom** und **Kobalt** in den Lebern der Strauße
(bezogen auf die Trockenmasse der Leberproben)

		Cr			Co		
Einheit		mg/kg			mg/kg		
Gruppe	n	\bar{x}	s	R	\bar{x}	s	R
1	6	1,37	± 0,35	0,85 - 1,93	0,63	± 0,15	0,49 - 0,93
2	10	1,06	± 0,73	0,43 - 2,94	1,02	± 0,53	0,48 - 2,51
3	10	0,97	± 0,51	0,43 - 2,35	0,56	± 0,17	0,38 - 0,95
4	12	2,37	± 2,34	0,62 - 7,55	2,19	± 0,70	0,56 - 3,24
5	12	2,63	± 2,66	0,35 - 7,88	0,75	± 0,42	0,36 - 2,11
6	12	1,58	± 1,08	0,72 - 4,80	1,24	± 0,28	0,93 - 1,75
7	10	1,15	± 0,90	0,51 - 3,60	0,76	± 0,16	0,59 - 1,12
8	10	5,79	± 6,18	0,43 - 16,49	1,29	± 0,24	1,01 - 1,85
9	10	1,75	± 1,09	0,60 - 4,42	0,65	± 0,12	0,50 - 0,93
10	10	2,07	± 0,79	0,75 - 3,10	0,92	± 0,16	0,69 - 1,22
11	10	3,00	± 1,21	1,05 - 5,66	0,57	± 0,11	0,43 - 0,82
12	10	2,38	± 1,42	0,73 - 5,70	0,63	± 0,09	0,51 - 0,82
13	10	0,92	± 0,55	0,60 - 2,43	0,65	± 0,16	0,43 - 0,99
14	10	0,68	± 0,28	0,43 - 1,44	0,60	± 0,12	0,45 - 0,91
15	10	0,39	± 0,16	0,16 - 0,78	0,68	± 0,19	0,46 - 1,01
16	10	1,87	± 1,07	0,49 - 3,72	0,46	± 0,09	0,27 - 0,60
17	10	1,09	± 0,54	0,45 - 2,23	0,64	± 0,14	0,35 - 0,88
18	10	1,57	± 1,48	0,49 - 4,84	0,39	± 0,14	0,18 - 0,59
19	10	1,66	± 0,79	0,74 - 3,10	0,80	± 0,29	0,24 - 1,19
20	10	1,17	± 0,35	0,71 - 1,74	0,82	± 0,13	0,64 - 1,00
Gesamt- gruppe (Gruppe 1-20)	202	1,80	± 2,14	0,16 - 16,49	0,83	± 0,50	0,18 - 3,24
	202	95%-Referenzbereich: 0,36 - 7,54 mg/kg			95%-Referenzbereich: 0,31 - 2,40 mg/kg		

Abkürzungen: n = Gruppengröße; \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung; R = Spannweite; 95%-Referenzbereich = 2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil

Tabelle 46: Konzentration von **Blei** in den Lebern der Strauße
(bezogen auf die Trockenmasse der Leberproben)

		Pb		
Einheit		mg/kg		
Gruppe	n	\bar{x}	s	R
1	6	1,29	± 0,36	0,78 - 1,86
2	10	1,96	± 0,40	1,51 - 2,94
3	10	1,04	± 0,33	0,42 - 1,56
4	12	3,42	± 3,61	1,15 - 14,81
5	12	1,83	± 0,78	0,98 - 3,92
6	12	4,78	± 1,34	3,06 - 7,94
7	10	0,34	± 0,34	< 0,01* - 0,90
8	10	0,41	± 0,44	< 0,01* - 1,32
9	10	0,48	± 0,29	0,16 - 1,24
10	10	1,05	± 0,75	0,16 - 2,65
11	10	0,91	± 0,33	0,33 - 1,58
12	10	0,92	± 0,27	0,46 - 1,28
13	10	0,82	± 0,27	0,42 - 1,32
14	10	0,49	± 0,36	< 0,01* - 1,18
15	10	0,61	± 0,46	0,03 - 1,76
16	10	0,53	± 0,47	0,04 - 1,54
17	10	2,18	± 1,60	0,26 - 5,80
18	10	0,26	± 0,40	< 0,01* - 1,20
19	10	0,67	± 0,32	0,17 - 1,36
20	10	0,64	± 0,52	0,07 - 1,72
Gesamtgruppe (Gruppe 1-20)	202	1,29	± 1,61	< 0,01* - 14,81
	202	95%-Referenzbereich: < 0,01* - 5,35 mg/kg		

Abkürzungen: n = Gruppengröße; \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung;
R = Spannweite; 95%-Referenzbereich = 2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil;
* = Konzentration lag unter 0,01 mg/kg (bis zu 0,001 mg/kg)

Tabelle 47: Konzentration von **Arsen** und **Cadmium** in den Lebern der Strauße
(bezogen auf die Trockenmasse der Leberproben)

		As			Cd		
Einheit		mg/kg			mg/kg		
Gruppe	n	\bar{x}	s	R	\bar{x}	s	R
1	6	0,69	± 0,14	0,48 - 0,90	0,33	± 0,07	0,27 - 0,48
2	10	0,68	± 0,16	0,45 - 1,02	0,14	± 0,06	0,07 - 0,27
3	10	0,63	± 0,09	0,50 - 0,76	0,37	± 0,26	0,08 - 0,91
4	12	0,78	± 0,17	0,53 - 1,18	0,25	± 0,16	0,06 - 0,58
5	12	0,85	± 0,18	0,60 - 1,27	0,11	± 0,11	0,03 - 0,44
6	12	0,88	± 0,09	0,72 - 1,02	0,30	± 0,53	0,03 - 1,77
7	10	0,75	± 0,11	0,60 - 0,95	0,19	± 0,02	0,16 - 0,25
8	10	0,89	± 0,21	0,63 - 1,33	0,19	± 0,09	0,08 - 0,44
9	10	0,77	± 0,13	0,64 - 1,12	0,15	± 0,05	0,10 - 0,25
10	10	0,73	± 0,11	0,60 - 1,02	0,51	± 0,49	0,15 - 1,60
11	10	0,79	± 0,31	0,61 - 1,70	0,28	± 0,31	0,09 - 1,18
12	10	0,71	± 0,16	0,50 - 1,07	0,39	± 0,36	0,12 - 1,14
13	10	0,40	± 0,14	0,19 - 0,68	0,10	± 0,06	< 0,01* - 0,20
14	10	0,26	± 0,17	0,12 - 0,74	0,35	± 0,49	0,07 - 1,79
15	10	0,48	± 0,23	0,15 - 0,88	0,14	± 0,06	0,08 - 0,27
16	10	0,24	± 0,11	0,03 - 0,42	0,52	± 0,93	0,08 - 3,23
17	10	0,32	± 0,14	0,15 - 0,65	0,13	± 0,18	0,05 - 0,67
18	10	0,45	± 0,25	0,09 - 0,82	0,15	± 0,05	0,05 - 0,23
19	10	0,22	± 0,11	0,10 - 0,51	0,22	± 0,12	0,12 - 0,45
20	10	0,41	± 0,11	0,31 - 0,64	0,26	± 0,08	0,14 - 0,39
Gesamt- gruppe (Gruppe 1-20)	202	0,60	± 0,28	0,03 - 1,70	0,25	± 0,35	< 0,01* - 3,23
	202	95%-Referenzbereich: 0,14 - 1,12 mg/kg			95%-Referenzbereich: 0,04 - 1,18 mg/kg		

Abkürzungen: n = Gruppengröße; \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung;
R = Spannweite; 95%-Referenzbereich = 2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil;
* = Konzentration lag unter 0,01 mg/kg

4.4 Analysen der Humeri

4.4.1 TROCKENMASSEGEHALT DER HUMERI

Arithmetischer Mittelwert, Standardabweichung und Werte-Spannweite des Trockenmassegehalts der frischen, nicht fettfreien (d.h. nicht chemisch entfetteten) Humeri sind für jede der 20 Gruppen sowie für die Gesamtgruppe aller untersuchten Strauße (Gruppe 1-20 = 202 Tiere) in Tabelle 48 (nächste Seite) präsentiert. Außerdem sind für die Gesamtgruppe noch das 2,5%-Quantil und das 97,5%-Quantil des 95%-Referenzbereichs der Trockenmassegehalte berechnet. Der Trockenmassegehalt der Humeri ist in % angegeben.

Aus den Trockenmassegehalten der Humeri können deren Feuchtigkeitsgehalte berechnet werden. Die Formel hierfür lautet:

$$100 \% - \text{Trockenmassegehalt Humerus (\%)} = \text{Feuchtigkeitsgehalt Humerus (\%)}$$

Der Feuchtigkeitsgehalt der Humeri liegt somit für die Gesamtgruppe zwischen 11,5 % und 37,4 %. Der arithmetische Mittelwert beträgt 20,5 % und die Standardabweichung $\pm 3,8$ %.

4.4.2 ROHASCHEGEHALT DER HUMERI

Arithmetischer Mittelwert, Standardabweichung und Werte-Spannweite des Rohaschegehalts der trockenen, nicht fettfreien (das heißt: nicht chemisch entfetteten) Humeri sind für jede der 20 Gruppen sowie für die Gesamtgruppe aller untersuchten Strauße (Gruppe 1-20 = 202 Tiere) in Tabelle 49 (übernächste Seite) präsentiert. Außerdem sind für die Gesamtgruppe noch das 2,5%-Quantil und das 97,5%-Quantil des 95%-Referenzbereichs der Rohaschegehalte berechnet. Der Rohaschegehalt der Knochen (Humerus) wird als % Rohasche im trockenen, nicht fettfreien Knochen ausgedrückt.

Tabelle 48: **Trockenmassegehalt** der frischen, nicht fettfreien Humeri der Strauße

Gruppe	n	\bar{x} (%)	s (%)	R (%)
1	6	79,4	$\pm 1,6$	76,0 - 81,1
2	10	78,2	$\pm 2,6$	72,4 - 81,2
3	10	79,7	$\pm 2,2$	75,5 - 83,4
4	12	77,5	$\pm 3,0$	70,4 - 82,8
5	12	80,3	$\pm 3,5$	73,1 - 85,2
6	12	76,2	$\pm 4,4$	66,8 - 83,3
7	10	82,4	$\pm 0,9$	80,4 - 83,3
8	10	79,4	$\pm 3,8$	72,9 - 86,4
9	10	79,4	$\pm 1,9$	76,3 - 83,2
10	10	77,5	$\pm 2,8$	71,3 - 81,1
11	10	79,9	$\pm 1,7$	76,6 - 81,9
12	10	79,1	$\pm 2,8$	71,5 - 81,5
13	10	83,2	$\pm 3,4$	75,9 - 88,5
14	10	83,6	$\pm 2,8$	77,9 - 87,7
15	10	79,3	$\pm 3,7$	74,7 - 86,0
16	10	82,1	$\pm 2,9$	78,3 - 87,1
17	10	76,2	$\pm 4,7$	66,7 - 83,3
18	10	79,6	$\pm 2,4$	76,5 - 83,4
19	10	77,8	$\pm 5,9$	62,6 - 84,8
20	10	80,3	$\pm 2,1$	77,5 - 85,4
Gesamtgruppe (Gruppe 1-20)	202	79,5	$\pm 3,8$	62,6 - 88,5
	202	95%-Referenzbereich: 70,7 - 86,4 %		

Abkürzungen: n = Gruppengröße; \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung;
R = Spannweite; 95%-Referenzbereich = 2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil

Tabelle 49: **Rohaschegehalt** der trockenen, nicht fettfreien Humeri der Strauße

Gruppe	n	\bar{x} (%)	s (%)	R (%)
1	6	44,5	± 2,5	40,5 - 47,8
2	10	42,8	± 3,3	37,0 - 47,6
3	10	43,0	± 1,6	38,7 - 44,5
4	12	46,3	± 2,3	43,2 - 49,5
5	12	46,4	± 3,0	41,8 - 51,0
6	12	42,9	± 3,0	38,5 - 49,8
7	10	44,6	± 2,5	39,9 - 48,9
8	10	44,9	± 3,5	38,9 - 49,8
9	10	45,5	± 2,0	42,1 - 49,9
10	10	48,1	± 1,2	46,2 - 50,7
11	10	44,2	± 2,3	38,9 - 47,4
12	10	46,3	± 2,6	42,6 - 50,5
13	10	44,4	± 2,9	41,7 - 51,8
14	10	44,6	± 2,6	41,3 - 50,1
15	10	44,4	± 2,0	40,8 - 47,5
16	10	45,9	± 2,0	41,9 - 49,2
17	10	45,7	± 1,9	42,6 - 48,5
18	10	43,8	± 2,8	39,9 - 47,8
19	10	44,8	± 4,1	40,3 - 55,2
20	10	44,6	± 2,0	41,7 - 48,8
Gesamtgruppe (Gruppe 1-20)	202	44,9	± 2,9	37,0 - 55,2
	202	95%-Referenzbereich: 38,9 - 50,5 %		
Abkürzungen: n = Gruppengröße; \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung; R = Spannweite; 95%-Referenzbereich = 2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil				

4.4.3 MINERAL- UND SPURENELEMENTGEHALTE DER KNOCHENASCHE

Die in der Rohasche der Humeri bestimmten Elementkonzentrationen sind, je nach Element, entweder in % der Rohasche oder in mg/kg der Rohasche angegeben.

Der arithmetische Mittelwert, die Standardabweichung und die Werte-Spannweite der Elementkonzentrationen in der Knochenasche der Humeri sind für jede der 20 Gruppen sowie für die Gesamtgruppe aller untersuchten Strauße (Gruppe 1-20 = 202 Tiere) in Tabelle 50 bis 54 präsentiert. Außerdem sind für die Elementwerte der Gesamtgruppe noch das 2,5%-Quantil und das 97,5%-Quantil des 95%-Referenzbereichs berechnet.

Folgende Tabellen enthalten die Werte der genannten Elemente:

Tabelle 50: Ca und Gesamt-P

Tabelle 51: Mg und Zn

Tabelle 52: Fe und Cu

Tabelle 53: Mn und Pb

Tabelle 54: F und Al

Tabelle 53: Konzentration von **Mangan** und **Blei** in der Knochenasche der Straußen-Humeri

		Mn			Pb		
Einheit		mg/kg			mg/kg		
Gruppe	n	\bar{x}	s	R	\bar{x}	s	R
1	6	9,1	± 1,3	7,4 - 11,0	5,4	± 3,7	1,7 - 12,8
2	10	9,3	± 1,3	7,8 - 11,1	3,1	± 1,3	1,6 - 5,9
3	10	8,3	± 1,0	6,9 - 9,9	7,9	± 5,0	3,2 - 18,2
4	12	7,2	± 1,1	5,4 - 9,0	5,3	± 0,5	4,7 - 6,3
5	12	7,0	± 1,5	4,4 - 9,1	10,2	± 10,8	2,9 - 39,8
6	12	12,1	± 4,5	7,0 - 24,7	52,9	± 16,2	23,3 - 88,2
7	10	8,0	± 1,3	6,6 - 11,0	5,0	± 2,0	2,7 - 9,4
8	10	9,1	± 1,6	6,7 - 11,4	6,8	± 3,8	3,6 - 17,0
9	10	8,5	± 1,6	5,1 - 10,6	4,8	± 1,2	2,8 - 7,4
10	10	8,2	± 1,0	6,5 - 9,2	23,8	± 28,1	3,8 - 83,6
11	10	7,3	± 1,6	4,6 - 9,6	4,5	± 2,8	2,6 - 11,0
12	10	7,6	± 1,0	6,7 - 9,8	8,5	± 6,6	3,1 - 22,9
13	10	7,8	± 0,8	6,2 - 9,0	3,8	± 0,6	2,6 - 4,4
14	10	7,6	± 1,1	4,4 - 8,8	3,2	± 1,5	1,2 - 5,9
15	10	7,7	± 2,3	3,4 - 10,6	7,5	± 3,6	3,6 - 15,1
16	10	6,9	± 1,0	6,0 - 9,0	5,3	± 4,9	2,5 - 19,8
17	10	7,8	± 1,2	6,2 - 10,0	21,7	± 12,5	9,0 - 48,5
18	10	7,0	± 2,4	3,0 - 10,8	2,7	± 1,3	0,7 - 4,8
19	10	9,9	± 1,5	7,8 - 12,8	2,6	± 1,3	0,7 - 4,5
20	10	10,1	± 2,8	7,2 - 17,6	4,7	± 4,9	0,9 - 14,0
Gesamt- gruppe (Gruppe 1-20)	202	8,3	± 2,3	3,0 - 24,7	10,0	± 15,0	0,7 - 88,2
	202	95%-Referenzbereich: 4,6 - 13,0 mg/kg			95%-Referenzbereich: 0,9 - 56,8 mg/kg		

Abkürzungen: n = Gruppengröße; \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung; R = Spannweite; 95%-Referenzbereich = 2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil

Tabelle 54: Konzentration von **Fluor** und **Aluminium** in der Knochenasche der Straußen-Humeri

	F				Al			
Einheit	mg/kg				mg/kg			
Gruppe	n	\bar{x}	s	R	n	\bar{x}	s	R
1 - 20	2 (-3)	*	*	*	2	*	*	*
Strauße aus den Gruppen 1 - 20	48	453	\pm 112	271 - 664	40	11,2	\pm 6,1	1,0 - 22,2
	48	95%-Referenzbereich: 290 - 640 mg/kg			40	95%-Referenzbereich: 1,6 - 20,8 mg/kg		

Abkürzungen: n = Gruppengröße; \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung;
R = Spannweite; 95%-Referenzbereich = 2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil;
* = Gruppengröße zu klein für eine aussagekräftige Statistik

4.4.4 CA:P-VERHÄLTNIS IN DER ROHASCHE DER HUMERI

Das Ca:P-Verhältnis wurde für die Rohasche jedes Humerus berechnet, indem die Ca-Konzentration in der Knochenasche durch die Gesamt-P-Konzentration in derselben geteilt wurde. Wichtig ist bei der Berechnung des Ca:P-Verhältnisses, daß die Einheiten der Ca- und der P-Konzentration übereinstimmen (hier: % der Humerus-Rohasche). Das Ca:P-Verhältnis selbst wird ohne Einheit angegeben.

Arithmetischer Mittelwert, Standardabweichung und Werte-Spannweite des Ca:P-Verhältnisses in der Rohasche der trockenen, nicht fettfreien Humeri sind für jede der 20 Gruppen sowie für die Gesamtgruppe aller untersuchten Strauße (Gruppe 1-20 = 202 Tiere) in Tabelle 55 präsentiert. Außerdem sind für die Gesamtgruppe noch das 2,5%-Quantil und das 97,5%-Quantil des 95%-Referenzbereichs des Ca:P-Verhältnisses berechnet.

Tabelle 55: **Ca:P-Verhältnis** in der Rohasche der trockenen, nicht fettfreien Humeri der Strauße

Gruppe	n	\bar{x}	s	R
1	6	2,16	$\pm 0,13$	1,99 - 2,38
2	10	2,27	$\pm 0,18$	2,02 - 2,51
3	10	2,48	$\pm 0,13$	2,23 - 2,61
4	12	2,38	$\pm 0,09$	2,25 - 2,58
5	12	2,28	$\pm 0,13$	2,13 - 2,50
6	12	2,52	$\pm 0,17$	2,26 - 2,85
7	10	2,65	$\pm 0,11$	2,46 - 2,84
8	10	2,58	$\pm 0,08$	2,47 - 2,74
9	10	2,54	$\pm 0,17$	2,32 - 2,78
10	10	2,48	$\pm 0,13$	2,33 - 2,73
11	10	2,59	$\pm 0,12$	2,38 - 2,79
12	10	2,45	$\pm 0,10$	2,28 - 2,58
13	10	2,29	$\pm 0,11$	2,07 - 2,45
14	10	2,39	$\pm 0,11$	2,18 - 2,56
15	10	2,41	$\pm 0,10$	2,24 - 2,57
16	10	2,45	$\pm 0,16$	2,24 - 2,67
17	10	2,43	$\pm 0,11$	2,21 - 2,65
18	10	2,45	$\pm 0,17$	2,20 - 2,76
19	10	2,63	$\pm 0,21$	2,17 - 2,97
20	10	2,74	$\pm 0,11$	2,56 - 2,90
Gesamtgruppe (Gruppe 1-20)	202	2,46	$\pm 0,19$	1,99 - 2,97
	202	<u>95%-Referenzbereich:</u> 2,08 - 2,83		

Abkürzungen: n = Gruppengröße; \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung;
R = Spannweite; 95%-Referenzbereich = 2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil

4.5 Analysen der Vollblutproben

Die Vollblutwerte sind in mg/kg Blut angegeben. Der arithmetische Mittelwert, die Standardabweichung, die Werte-Spannweite und der 95%-Referenzbereich (2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil) der Vollblutproben wurden nur für die Gesamtgruppe der 202 untersuchten Strauße ermittelt. Für Mg, Fe und Se sind sie in Tabelle 56 wiedergegeben. Auf die Darstellung der genannten Werte für die einzelnen Gruppen wird verzichtet, da die Gruppengröße von 3 Tieren keine vertretbare statistische Aussage zuläßt.

Tabelle 56: Konzentration von **Magnesium**, **Eisen** und **Selen** im Vollblut von 63 Straußen

	Mg	Fe	Se
n	63	63	63
Einheit	mg/kg	mg/kg	mg/kg
\bar{x}	91,2	270	0,378
s	± 9,3	± 37	± 0,135
R	67,4 - 121,5	164 - 358	0,153 - 0,953
<u>95%-Referenz- bereich</u>	73,2 - 107,1 mg/kg	211 - 337 mg/kg	0,156 - 0,742 mg/kg
Abkürzungen: n = Probenzahl; \bar{x} = arithmetischer Mittelwert; s = Standardabweichung; R = Spannweite; 95%-Referenzbereich = 2,5%-Quantil und 97,5%-Quantil			

5. DISKUSSION

5.1 Eignung des Materials als Grundlage für Referenzwerte

Die Zahl von 202 untersuchten Tieren liegt deutlich über dem empfohlenen Minimum von 120 Proben (REED et al., 1971; SASSE, 1992) für eine statistische Erfassung von Daten einer Population (siehe 3.1.2), weshalb sie und speziell ihre 95%-Referenzbereiche als Referenzwerte von hohem wissenschaftlichem Wert sind. Vornehmlich aus finanziellen Gründen konnten verschiedene Elemente in Serum und Knochenasche sowie die drei im Vollblut untersuchten Elemente nur in geringerer Zahl bestimmt werden (siehe 4., Tab. 27). Die 40 auf ihren Gesamt-P- und Chlorid-Gehalt untersuchten Proben im Serum, die 48 bzw. 40 auf F bzw. Al untersuchten Proben in der Knochenasche und die 63 untersuchten Vollblut-Proben (Mg, Fe, Se) liegen deutlich unter der als Minimum für statistische Untersuchungen empfohlenen Zahl von 120 Tieren, was den Wert der von diesen Elementen ermittelten Daten als Referenzwerte etwas vermindert, insbesondere der 95%-Referenzbereiche. Trotzdem sind diese Daten für die Straußenindustrie und -forschung von erheblichem Nutzen, da von diesen Elementen für Strauße bisher entweder keine oder nur äußerst wenige Daten (mit Ausnahme von Cl im Serum) existieren.

Die Gesamtgruppe der untersuchten Strauße repräsentiert geographisch, klimatisch, ernährungstechnisch, sowie bezogen auf die Straußenindustrie und die Vegetation, die in der Republik Südafrika vorhandenen Haltungsbedingungen der großen Mehrheit an Straußen (siehe 3.1.1, 3.1.3). Somit können die in dieser Untersuchung erhaltenen Daten als Referenzwerte für Farmstrauße der untersuchten Altersklasse (subadult, 10 - 16 Monate) in Südafrika verwendet werden. Für andere Altersklassen, andere Länder, andere Ratiten (siehe 2.2.1) und speziell Hennen in der Legesaison können diese Werte nur unter Vorbehalt als Vergleichswerte benutzt werden.

5.2 Vorversuche und verwendete Methoden

5.2.1 FEUCHTIGKEITSGEHALT UND TROCKNUNGSDAUER VON FRISCHEN BEZIEHUNGSWEISE FORMALIN-GELAGERTEN LEBERPROBEN

Der Vergleich der Feuchtigkeitsgehalte von frischen und Formalin-gelagerten Leberproben sollte klarstellen, ob bei ein und derselben Probe durch die Formalin-Lagerung (18 Tage) ein signifikanter Unterschied im Feuchtigkeitsgehalt entsteht. Diese Möglichkeit mußte in Betracht gezogen werden, weil sich Gewebezellen bei der Lagerung in Formalin in ihrer biochemischen Zusammensetzung verändern. Dies hätte sich auf Masse und Trockenmasse bzw. Feuchtigkeitsgehalt der Zellen und der Leberproben auswirken können.

Beim direkten Vergleich der Leber-Feuchtigkeitsgehalte von Frischproben und Formalin-gelagerten Proben in einem separaten Versuch konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (t-Test, Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,05$; siehe 4.5). Das zeigt, daß der Feuchtigkeitsverlust bei der Trocknung bis zu konstantem Gewicht bei frischen und Formalin-gelagerten Proben vergleichbar ist. Der Faktor für die Umrechnung von Elementkonzentrationen von der Trockenmasse auf die Frisch- oder die Feuchtmasse ist somit bei derselben Probe vergleichbar. Dies ist wichtig bei Umrechnungen zum Vergleich von Literaturdaten, die sich auf die Frisch-, Feucht- oder Trockenmasse beziehen. Voraussetzung ist eine Trocknung bis zu konstantem Gewicht, das Trockenverfahren selbst ist unbedeutend. Daraus kann geschlossen werden, daß beim Vergleich von auf die Feuchtmasse bezogenen Ergebnissen von Frischleberproben und Formalin-gelagerten Leberproben die Ergebnisse direkt vergleichbar sind. Das bestätigen die Ergebnisse von THERON et al. (1974) aus ihrer Untersuchung über den Feuchtigkeitsgehalt von frischen und Formalin-gelagerten Rinderlebern (siehe 2.3.1).

THERON et al. (1974) empfehlen sogar eine Formalin-Lagerung von Leberproben für einige Wochen, falls eine Homogenisation der Proben vor dem

Verdauungsprozeß nicht möglich ist, weil dadurch die Verteilung verschiedener Elemente und der Feuchtigkeitsgehalt homogener werden. Auch in dem unter 3.2.6 beschriebenen Versuch war die Standardabweichung vom mittleren Feuchtigkeitsgehalt bei den frischen Leberproben höher als bei den Formalin-gelagerten Leberproben (siehe 4.5), was auf eine Verbesserung der Homogenität durch die Formalin-Lagerung hindeutet. THERON et al. (1974) fanden außerdem, daß verschiedene Elemente innerhalb eines Leberlappens nicht homogen verteilt waren, auch deshalb raten sie zur Homogenisation. Auch andere Autoren (CHAPMAN et al., 1963; HENDERICKX & VAN DER HEYDE, 1961) fanden unterschiedliche Elementkonzentrationen innerhalb von Rinder- und Schweinelebern, während dies bei CASSIDY und EVA (1958) auch innerhalb einzelner Leber-Lobi der Fall war. Da eine Homogenisation von Leberproben meist nicht möglich ist (hierzu wären ganze Lebern oder wenigstens ganze Leber-Lobi nötig), ist es beim Vergleich von Werten verschiedener Tiere wichtig, die Proben an derselben Stelle eines festgelegten Leber-Lobus zu nehmen.

Anhand der in 4.5 präsentierten Ergebnisse kann festgestellt werden, daß mit Hilfe der unter 3.2.6 beschriebenen Methoden ermittelte Feuchtigkeitsgehalte von frischen und Formalin-gelagerten Leberproben direkt vergleichbar sind. Dies gilt auch für tiefgefrorene Leberproben, vorausgesetzt die dazu benötigte Frischmasse wird durch Wiegen vor dem Einfrieren ermittelt (wegen des Feuchtigkeitsverlusts beim Gefrierprozeß). Deshalb soll nochmals betont werden, daß - speziell in Anbetracht anderer Faktoren, wie dem Probenaufschluß und der Stelle der Probenentnahme - die Ergebnisse von frischen und Formalin-gelagerten Leberproben bei gleichen Einheiten direkt vergleichbar sind. Ist hierzu eine Umrechnung von der Trockenmasse notwendig, gilt dies nur nach der Feuchtigkeitsbestimmung von der Feucht-/Frischmasse und der Trockenmasse der einzelnen Probe. Die Anwendung des mittleren Feuchtigkeitsgehalts einer Gruppe von Proben als Umrechnungsfaktor für eine Einzelprobe ist nicht anzuraten, da zwischen Einzelproben anhand dieser Untersuchung Werteschwankungen von 59,5 bis 75,9 % Feuchtigkeit in der Feucht-/Frischmasse zu erwarten sind, die einen signifikanten Einfluß auf die Elementkonzentrationen

haben würden (siehe 4.5 & 4.2.1). Es muß aber klar gesagt werden, daß die Bestimmung von Elementkonzentrationen aus der Leber-Trockenmasse und die darauf bezogenen Ergebnisse akkurater und besser vergleichbar sind, da der Faktor Feuchtigkeitsgehalt als eine, wenn auch unter den oben genannten Voraussetzungen vernachlässigbare Quelle von Variationen wegfällt.

Die Trocknungsdauer für eine Trocknung bis zu konstantem Gewicht hängt vom Probenmaterial, speziell von dessen Konsistenz, Größe, Gewicht, Form (bzw. Ausmaße) und Spezies, sowie von den Trocknungsbedingungen ab. Die hier ermittelte Trocknungsdauer kann unter Einhaltung der angegebenen Bedingungen (siehe 3.2.3 und 3.2.6) somit auch für andere Untersuchungen verwendet werden. Bei einer Trocknung von Leberproben, die nicht mit einer anderswo beschriebenen identisch ist, muß die dafür notwendige Trocknungsdauer zuerst bestimmt werden. Bei dieser Untersuchung wird das dadurch deutlich, daß die für die 1-2 g (maximal 2,5 g) schweren Proben ermittelte Trocknungsdauer bei den 3 g oder schwereren Proben nicht mehr zur Trocknung bis zum konstanten Gewicht ausreichte.

5.2.2 VERWENDETE METHODEN

Die für den Probenaufschluß und die Analysen verwendeten Methoden stellen eine wissenschaftlich fundierte Möglichkeit dar, in einem Arbeitsprozeß die wichtigsten Mengen- und Spurenelemente in einem der untersuchten Gewebe (Serum, Leber, Knochen, Vollblut) zu bestimmen. Die durchgeführten und unter 4.1.4.1 (und 4.1.4.2, siehe unten) beschriebenen Kontrollen zeigen, daß die Analysen-Ergebnisse bei Anwendung der beschriebenen Methoden mit standardisiertem und zertifiziertem Referenzmaterial replizierbar sind. Die Replizierbarkeit wird dadurch bewiesen, daß die für das Standard Reference Material® (SRM) zertifizierten (und nicht zertifizierten) Konzentrationen (bzw. deren Toleranzbereiche) bei den SRM-Analysen bestätigt werden. Die hier verwendeten Toleranzbereiche (± 1 % unter- oder oberhalb des Toleranzbereichs für zertifizierte Elemente; ± 10 % unter- oder oberhalb der nicht zertifizierten Element-

Konzentration) wurden aufgrund von allgemeinen Erfahrungswerten in der Elementanalyse festgelegt. Die leichte Minderung des Werts der Ergebnisse für die nicht zertifizierten Elemente durch die Nicht-Zertifizierung sollte aufgrund des bisherigen Mangels an Daten zu diesen Elementen vernachlässigt werden.

Konzentrationsangaben zum jeweiligen SRM für die Elemente Gesamt-P und Cl im Serum sowie Cr in der Leber existierten nicht. So konnte nur angenommen werden, daß - nachdem alle anderen untersuchten Elemente im vorgegebenen Rahmen lagen - die Ergebnisse der drei genannten Elemente ebenfalls korrekt sind. Dies mindert den Wert der Ergebnisse dieser drei Elemente als Referenzwerte etwas, beim Gesamt-P und Cl im Serum wird das durch die jeweils nur 40 Konzentrationsbestimmungen verstärkt. Aus finanziellen Gründen konnte jedoch kein zusätzliches Referenzmaterial eingesetzt werden. Zudem war Referenzmaterial mit zertifizierten Konzentrationen von Gesamt-P bzw. Cl für Serum und von Cr für die Leber praktisch nicht erhältlich. Trotzdem wurden diese drei Elemente als interessant und wichtig erachtet und deshalb mit untersucht.

Die Korrektheit der Methode und der Analysen für die Bestimmung von anorganischem Phosphat im Serum wird durch die zur Kontrolle verwendete Standard-Additions-Methode bewiesen, die auf der Zugabe verschiedener, bekannter Standard-Konzentrationen und der Replikation der berechneten Werte (in einem festgelegten Toleranzbereich) durch die Konzentrationsmessung anhand der angewandten Methode beruht (siehe 4.1.4.2).

Aufgrund der wissenschaftlich fundierten Kontrolle der Methoden und der Analysen sind die gewonnenen Ergebnisse als wissenschaftlich wertvolle Referenzwerte einzuordnen.

5.3 Analysen der Serumproben

Der Vorteil von Serumproben liegt zum einen darin, daß sie immer relativ einfach zu gewinnen sind, unabhängig davon ob es sich um lebende Tiere handelt oder

um Tiere, die auf dem Schlachthof oder zur Sektion getötet werden. Zum anderen spiegeln sie den momentanen, metabolischen Zustand des Körpers zur Zeit der Probennahme wider. Letzteres hat aber gleichzeitig den Nachteil, daß Serumkonzentrationen auf kurzfristige Änderungen bzw. Schwankungen im Metabolismus reagieren und damit von ungewollten Einflüssen kurz vor der Probennahme beeinflußt werden können, wie dem Zeitpunkt der letzten Fütterung oder einer durch Wasserentzug oder Streß vor der Probennahme veränderten Serumdichte. Auch der Zeitpunkt der Probennahme im Tag-Nacht-Rhythmus des Tieres, der bei dieser Untersuchung dem Schlachtzeitpunkt entsprach, kann Einfluß auf die Serumkonzentrationen haben.

5.3.1 IONENDIFFUSION UND HÄMOLYSEPROBLEME BEI SERUMPROBEN

Die Diffusion von Ionen aus den Blutkörperchen (v.a. den Erythrozyten) in das Serum bei längerer Stehzeit bzw. beim Transport von unbehandelten Blutproben (Serum mit Blutkoagel) vor der Separierung des Serums durch Zentrifugieren kann signifikante Werteverfälschungen ergeben, vor allem für K. Die Diffusion von K zwischen Zelle und Serum/Plasma kann schon sehr früh nach der Probengewinnung einsetzen. So fanden LUMEIJ et al. (1998) deutliche Schwankungen der Plasma-K-Werte bei Falken (*Falco peregrinus*) in zeitlicher Abhängigkeit vom Zentrifugieren nach der Probennahme (zwischen 1 und 60 min nach Probennahme).

Hämolytisches Serum kann die Serum-Konzentrationen einiger Elemente beeinflussen, die in den Blutkörperchen in höherer Konzentration enthalten sind, wie K, Fe, Mg, Se, P, Zn, Cu und Mn. Hämolysen bei Blutproben können viele Ursachen haben, von falscher Blutgewinnung und -lagerung bis hin zum Zentrifugieren, falschen Probengefäßen, Transport der unzentrifugierten Proben oder Streß der Tiere. Bei nachgewiesener Hämolyse (Nachweis z.B. durch Hämoglobin-Bestimmung oder Sediment-Kontrolle nach Zentrifugieren) muß mit erhöhten Werten von K, Fe, Mg, Se, Zn, Cu und Mn gerechnet werden. Da sich Hämolyse aber nie ganz ausschließen läßt und gerade bei unter

“Feldbedingungen” gewonnenen Serumproben häufig vorkommt, sollten auch Werte von Proben mit vermuteter oder nachgewiesener, geringgradiger Hämolyse in die Gesamt-Wertespannen von normalen Ergebnissen und damit auch in die Berechnung der Referenzbereiche (hier des 95%-Referenzbereichs) mit einbezogen werden. Allerdings können hohe K-Werte eine Folge von Diffusion oder Hämolyse sein. Dies trifft auch für Fe, Mg, Se, P, Zn, Cu und Mn zu, wobei hier die Hämolyse eine größere Rolle spielen sollte, vor allem bei Fe und Mg.

Bei den hier untersuchten Serumproben zeigten wenige (unter 5 %) der Proben eine leicht rötliche Färbung, die vermutlich auf Hämolyse zurückzuführen war. Zusätzlich bei allen Proben noch eine Hämolyse-Kontrolle durchzuführen, wäre zu aufwendig und im Laborablauf auch nicht möglich gewesen. Bei den ermittelten Werten wurde kein direkter Zusammenhang zwischen hohen K-Werten im Serum und den leicht rötlich gefärbten Serumproben gesehen. Die K-Konzentrationen im oberen Bereich der Wertespanne sind wohl auf Diffusionsprozesse zurückzuführen. Diffusion spielt sicher auch bei Fe, Mg, Se, Zn, Cu und Mn eine Rolle. Eindeutige Zusammenhänge zwischen den leicht rötlichen Sera und hohen Werten bei Fe, Mg, Se, P, Zn, Cu oder Mn wurden ebenfalls nicht gesehen. Wenn überhaupt, fiel in der Regel nur der Wert eines Elements hoch aus, nie lagen alle Werte in vergleichbarem Maße im oberen Bereich der Wertespanne. Hohe Werte kamen genauso häufig bei Proben ohne rötliche Färbung vor. Ferner kamen bei den 202 untersuchten Serumproben Serum-Färbungen vor, die von fast klarem Serum über weißliches, weiß-gelbliches und gelbliches bis zu gelb-rötlichem Serum reichten. Der optische Eindruck des “Hämolysestatus” von Serumproben kann also nicht als Kriterium für die Stärke der Hämolyse genommen werden. Allerdings kann eine unterschiedliche Rotfärbung von Serumproben desselben Tieres bei verschiedenen Blutproben-Röhrchen sehr wohl einen Hinweis auf Hämolyse und damit auf die Eignung der Röhrchen zur Serumgewinnung geben (siehe 4.1.1).

Trotz allem muß bei dieser Untersuchung bei den Werten von K, Fe, Mg, Se, P, Zn, Cu oder Mn im oberen Bereich der Wertespanne damit gerechnet werden, daß

sie zum Teil durch Hämolyse oder Diffusion aus den Blutkörperchen etwas verfälscht wurden, selbst wenn keine der beiden nachgewiesen wurde.

Werteverfälschungen durch Diffusion oder Hämolyse müssen auch bei einigen K-Serum- bzw. Plasmawerten aus der Straußenliteratur angenommen werden, die deutlich höher liegen als die Mehrheit der anderen Werte. Ein typisches Beispiel wären von SKADHAUGE et al. (1984) beschriebene, sehr hohe Werte. Sie stammen von vier erwachsenen, wilden Straußen aus Kenia, die erlegt wurden. Das Blut wurde vom Herz gewonnen und mußte zum Zentrifugieren ins Labor transportiert werden. Die Verwendung des Herzbluts und der nicht vibrations- und schüttelfreie Transport der Proben, sowie die vermutlich lange Zeit bis zur Plasmaseparierung lassen Hämolyse und Diffusion als Ursachen für die erhöhten K-Werte vermuten. Unter den von OLOWOOKORUN und MAKINDE (1998) gefundenen Werten befinden sich die höchsten bislang bekannten K-Werte für Straußenserum. Da die Proben am Schlachthof genommen wurden, sind auch hier Hämolyse und Diffusion als Ursachen in Betracht zu ziehen. Wie unter 3.1.6.1 und 3.1.6.2 beschrieben, kann hierbei eine Hämolyse-freie Blutproben- bzw. Serumgewinnung je nach Probengefäß und Entnahmebedingungen ein erhebliches Problem darstellen. Der Verfasser dieser Dissertation bekam zudem während der Probennahmen den subjektiven Eindruck, daß Straußenblut stärker zur Hämolyse neigt als das Blut einiger anderer Vogel- oder Säugetierspezies. Ein Grund hierfür könnte sein, daß Strauße aufgrund der Handhabung durch die Menschen bei der Blutprobenentnahme oder der Schlachtung stärker gestreßt werden als beispielsweise Rinder. Die Maxima und die Mittelwerte der erwähnten K-Werte von OLOWOOKORUN und MAKINDE (1998) und von SKADHAUGE et al. (1984) liegen deutlich über dem Maximum der in den Straußensera dieser Untersuchung gefundenen K-Werte.

Aus der Untersuchung von ANDREASEN et al. (1996) geht hervor, daß Hämolysebedingte Hämoglobin-Interferenzen bei der Verwendung von chemischen Naß- und Trockenreagens-Analysatoren zu erwarten sind. Damit ist bei der hiesigen Untersuchung aufgrund des chemischen Probenaufschlusses und der Spektrophotometrie nicht zu rechnen (siehe 3.2.1).

5.3.2 SERUM-DICHTE

Die Dichte von Serum und Plasma werden sich bei demselben Tier höchstwahrscheinlich unterscheiden, allerdings in so einem geringen Maße, daß dies beim Umrechnen von Elementkonzentrationen in eine andere Einheit mit Hilfe der Dichte auf die Werte keinen signifikanten Einfluß nimmt und vernachlässigbar ist. In dieser Untersuchung bestand nicht die Möglichkeit, dies zu überprüfen. Auch in der Literatur waren hierzu keine Angaben zu finden. Zusätzlich kann angenommen werden, daß Meßfehler, wie beispielsweise "normal" vorkommende Schwankungen in der exakten Volumenmessung, einen vergleichbaren oder größeren Einfluß auf die Variation der Werte nehmen als der Werte-Unterschied zwischen Serum und Plasma. Serum- und Plasmawerte von Mengen- und Spurenelementen werden deshalb als vergleichbar angesehen (siehe auch 2.2.1).

Die Mittelwerte und die Standardabweichungen der 20 Straußen-Gruppen und der Gesamt-Gruppe der 202 Tiere (siehe 4.2.1) weichen nicht stark voneinander ab, woraus geschlossen werden kann, daß die Daten der Gesamt-Gruppe ($\bar{x} = 1,076$ g/ml; $s = \pm 0,044$ g/ml; 95%-Referenzbereich = 1,004 - 1,169 g/ml) sehr gut die 20 Einzel-Gruppen widerspiegeln. Die in 5 der 20 Gruppen vorkommenden, über dem 97,5%-Quantil der Gesamtgruppe liegenden Maximalwerte deuten auf eine außergewöhnlich hohe Serumdichte hin. Dies könnte eine Folge von Streß gewesen sein, der sicherlich zwischen den Gruppen und zwischen den Individuen variierte. Ursache für unterschiedlich starken Streß können eine unterschiedliche Transportdauer, während der die Tiere zudem keinen Zugang zu Wasser haben, oder unterschiedlich starker Streß durch den Transport, die Handhabung durch das Schlachtpersonal der verschiedenen Schlachthöfe und die Tatsache sein, daß die Tiere auf den verschiedenen Farmen in unterschiedlichem Maße an den Umgang mit und das "Handling" durch Menschen gewöhnt sind. Streß kann durch erhöhte Wasserausscheidung über den Harn sowie Wassereinlagerung ins Gewebe zu einer Erhöhung der Serumdichte führen, genauso wie dies durch eine verringerte Wasseraufnahme (z. B. beim Transport) verursacht werden kann. Da aber Streß regelmäßig vorkommt, sollte der 95%-Referenzbereich der Gesamt-

Gruppe der Strauße als Referenzwert verwendet werden. Durch den Unterschied zwischen dem 95%-Referenzbereich und der Gesamtspannweite bei der Serum-Dichte sollten Extremwerte (hier vor allem Maximalwerte), die beispielsweise durch Streß verursacht sein können, ausgeschlossen werden.

5.3.3 ELEMENT-KONZENTRATIONEN IM SERUM

Bei der folgenden Besprechung der ermittelten Serum-Konzentrationen (siehe 4.2.2) wird bei jedem Element zuerst auf Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten zwischen den 20 Straußen-Gruppen eingegangen. Danach werden die Werte der Gesamtgruppe der 202 Strauße besprochen und mit den Literaturwerten von 2.2 verglichen.

Ca: Mittelwert und Standardabweichung der Einzelgruppen sind mit dem der Gesamt-Gruppe ($\bar{x} \pm s = 17,3 \pm 3,2$ mg/dl) vergleichbar (siehe 4.2.2). Die Gruppen 16 und 18 fallen durch sehr niedrige Minima (8 bzw. 6,7 mg/dl) im Vergleich zu den anderen Gruppen auf. Dies könnten schon marginale Serum-Ca-Werte sein, die möglicherweise auf eine (temporäre oder leichte) Ca-Unterversorgung ohne klinische Symptomatik zurückzuführen sind.

Die bei der Gesamtgruppe der 202 Strauße gefundenen Ca-Serumwerte haben eine kleine Standardabweichung und einen gleichmäßig um den Mittelwert gelegenen 95%-Referenzbereich (10,7 - 22,6 mg/dl). Das Minimum (6,7 mg/dl) ist deutlich kleiner als das 2,5%-Quantil, während das Maximum (23,5 mg/dl) nur wenig größer als das 97,5%-Quantil ist. Die meist wenigen für den Unterschied zwischen Spannweite (Minimum - Maximum) und 95%-Referenzbereich verantwortlichen, (sehr) niedrigen bzw. (sehr) hohen Werte sollten nicht als Referenzwerte verwendet werden, da sie allein schon durch eine temporäre Unter- bzw. Überversorgung mit Ca verursacht sein können und dann nicht den mittelfristig gesehen, physiologisch gesunden Zustand der Strauße reflektieren. Dies gilt im übrigen für die Serumwerte aller hier untersuchten und vieler anderer Elemente. Verglichen mit der bisher bekannten Literatur über Strauße (siehe

2.2.2.1) liegen die hier gefundenen Ca-Serumwerte in einem vergleichbaren Wertebereich. Von Huhn und Pute sind aus der Literatur auch um einiges höhere Ca-Serumwerte als das hier gefundene Maximum bekannt (siehe 2.2.2.1). Der berechnete Mittelwert der Ca-Serumwerte dieser Strauße liegt im oberen Bereich der in der Straußenliteratur genannten Mittelwerte.

Anorganisches PO_4 : Die meisten Mittelwerte und die Standardabweichungen der Einzelgruppen korrelieren gut mit den Gesamtgruppen-Werten ($\bar{x} \pm s = 14,9 \pm 3,0$ mg/dl; siehe 4.2.2). Die Mittelwerte der Gruppen 2, 3 und 5 liegen deutlich über denen der anderen und der Gesamtgruppe (\bar{x} der Gruppen 2, 3 & 5 sind größer als $\bar{x} + s$ der Gesamtgruppe). Die Ursache sind einige sehr hohe Spitzenwerte, was auch bei Gruppe 6 der Fall ist. Die Standardabweichung ist bei diesen Gruppen und der Gesamtgruppe höher als bei den anderen Gruppen. Gruppe 4 fällt durch ein niedriges Minimum (7,4 mg/dl) auf, das schon im marginalen Bereich liegen und eventuell von einem klinisch nicht erkennbaren P-Mangel herrühren könnte. Dieser kann kurzfristig bzw. temporär sein, was beim Serum in der Regel eine ebenfalls temporäre Werteänderung verursacht, oder es handelt sich um einen leichten, aber längerfristigen P-Mangel.

Die Werte beim anorganischem Phosphat von der Gesamtgruppe (202 Strauße) bieten mit einer kleinen Standardabweichung und einem nicht zu breiten 95%-Referenzbereich (10 - 22,6 mg/dl) eine gute Basis als Referenzwerte, da sie sich gut mit den klar als anorganisches Phosphat gekennzeichneten Werten der Straußenliteratur decken (siehe 2.2.3.1). Gerade die in 2.2.3 zitierten Serum-Phosphatwerte sowie die Knochen-P-Werte zeigen deutlich, wie wichtig eine eindeutige Deklaration der untersuchten Parameter und der verwendeten Einheiten ist. Ohne diese ist ein Vergleich mit anderen Untersuchungen entweder gar nicht oder nur unter Vorbehalt möglich, was den wissenschaftlichen Wert solcher Werte stark vermindert.

Gesamt-P: Ein Vergleich der Einzelgruppen ist nicht sinnvoll, da nur 2 Proben je Gruppe analysiert werden konnten. Die Werte der 40 auf den Gesamt-P-Gehalt

analysierten Serumproben (verteilt auf die Gesamtgruppe) haben eine dem anorganischen Phosphat-Gehalt der Gesamtgruppe (202 Tiere) vergleichbare Standardabweichung (siehe 4.2.2). Zudem wirken die Gesamtgruppen-Absolutwerte der Mittelwerte und der 95%-Referenzbereiche vom Gesamt-P ($\bar{x} = 15 \text{ mg/dl}$) und vom anorganischen Phosphat ($\bar{x} = 14,9 \text{ mg/dl}$) fast identisch. Man muß aber beachten, daß die präsentierten Konzentrationen von anorganischem Phosphat und Gesamt-P im Serum (in der verwendeten Einheit mg/dl) nicht direkt miteinander vergleichbar sind, wenn die Werte sich auf den ersten Blick auch ähneln. Beim Ersten ist nämlich die Konzentration an anorganischem Phosphat (PO_4) mit einer Molmasse von 94,97 gemeint, während beim Zweiten die Konzentration an elementarem Phosphor (P) mit einer Molmasse von 30,97 gemeint ist. Die P-Konzentration einer Probe würde somit nur etwa ein Drittel der Phosphat-Konzentration derselben Probe betragen (bei der Einheit Masse bezogen auf Volumen, also z.B. mg/dl). Unabhängig davon konnte beim Vergleich des anorganischen Phosphatwerts und des Gesamt-P-Werts derselben Probe bei den genannten 40 Proben keine Korrelation in irgendeiner Form festgestellt werden. Dies war auch nicht zu erwarten, da der Gehalt an P in den organischen Bestandteilen des Serums weder konstant ist, noch in einem direkten Faktorenverhältnis mit dem P- bzw. PO_4 -Gehalt in den anorganischen Serumbestandteilen steht. Ein Vergleich der im Serum gefundenen Gesamt-P-Konzentrationen mit Literaturwerten aus 2.2.3.1 ist nicht möglich, da keine der Quellen eindeutig Gesamt-P-Werte angibt.

Mg: Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Einzelgruppen und der Gesamt-Gruppe ($\bar{x} \pm s = 5,17 \pm 1,01 \text{ mg/dl}$) korrelieren bis auf Gruppe 16 gut miteinander (siehe 4.2.2). Gruppe 16 hat einen niedrigen Mittelwert (unter $\bar{x} - s$ der Gesamtgruppe liegend) mit einer hohen Standardabweichung, auffallend ist das besonders niedrige Minimum (1,37 mg/dl). Auch Gruppe 3 fällt durch ein niedriges Minimum (1,89 mg/dl) auf. Diese niedrigen Werte könnten wieder, wie beim Kalzium und beim anorganischen Phosphat schon angesprochen, marginale Werte darstellen, bei denen schwer zu sagen ist, ob es sich um einen temporären Versorgungsmangel oder um eine längerfristige Unterversorgung handelt.

Bei den Mg-Serumwerten der Gesamtgruppe ist die Standardabweichung klein, der 95%-Referenzbereich (3,25 - 6,8 mg/dl) liegt gleichmäßig um den Mittelwert. Das Minimum (1,37 mg/dl) ist deutlich kleiner als das 2,5%-Quantil, während das Maximum (6,98 mg/dl) fast dem 97,5%-Quantil entspricht. Gerade für das Minimum ist zu beachten, daß die außerhalb des 95%-Referenzbereichs gelegenen Mg-Serumwerte aus den bei der Besprechung der Ca-Serumwerte genannten Gründen nicht als Referenzwerte herangezogen werden sollten. Die hier ermittelten Mg-Serumwerte sind mit den aus der Straußenliteratur bekannten Werten vergleichbar (siehe 2.2.4.1). Der Mittelwert liegt im oberen Bereich der aus der Straußenliteratur bekannten Mittelwerte.

Zn: Die Mittelwerte der Einzelgruppen liegen gleichmäßig gestreut um den Mittelwert der Gesamtgruppe (0,162 mg/dl) mit etwas schwankenden Standardabweichungen. Gruppe 19 fällt durch einen niedrigen Mittelwert und ein niedriges Maximum auf. Bei den meisten Gruppen liegen große Werte-Spannen vor, mit einigen hohen Maxima, wie bei den Gruppen 3, 7 und 8, wobei 7 und 8 auch kleine Minima haben (siehe 4.2.2).

Bei den Zn-Serumwerten der Gesamtgruppe fallen die Standardabweichung ($\pm 0,104$ mg/dl), die Spannweite (0,011 - 0,663 mg/dl) und der 95%-Referenzbereich (0,02 - 0,441 mg/dl) im Vergleich zum Mittelwert groß aus. Die Spannweite, besonders das Maximum, fällt etwas größer aus als die in der Straußenliteratur (siehe 2.2.5.1) genannten Werte.

Fe: Die Fe-Werte der Einzelgruppen differieren stark, besonders die Mittelwerte, Minima und Maxima (siehe 4.2.2). In vielen Fällen ist dadurch die Gesamtgruppe nicht repräsentativ für die jeweilige Einzelgruppe. Die großen Unterschiede zwischen den Gruppen und Individuen sind sicherlich zumindest teilweise in einer unterschiedlichen alimentären Fe-Zufuhr begründet. Hierbei spielt ein Fe-Mangel höchstwahrscheinlich keine Rolle, da die Böden in Südafrika in der Regel nicht Fe-arm, sondern oft sogar sehr Fe-reich sind. Die teilweise sehr hohen Fe-Serumwerte mancher Tiere im Vergleich zu anderen Tieren sind wohl die Folge

eines unterschiedlich starken Fe-Überschusses in der Nahrung, wobei Fe offensichtlich und bekanntermaßen in sehr hohen und den Bedarf um ein Vielfaches übersteigenden Konzentrationen vom Körper toleriert wird.

Für die Gesamtgruppe der Fe-Serumwerte gilt das beim Zn Gesagte, wobei die Spannweite (0,02 - 1,802 mg/dl) und der 95%-Referenzbereich (0,072 - 1,602 mg/dl), und besonders deren Obergrenzen eine größere Werte-Variation anzeigen als das beim Zn und anderen Elementen der Fall ist. Die Fe-Serumwerte sind dadurch weniger für eine Aussage über den Fe-Status des Blutes oder als Referenzwerte geeignet als die gleichmäßiger verteilten und weniger streuenden Fe-Vollblutwerte (siehe 5.6.1). Im Vergleich zur vorhandenen Straußenliteratur (siehe 2.2.6.1) liegen Maximum, 97,5%-Quantil und Mittelwert der hier gefundenen Fe-Serumwerte deutlich höher.

Cu: Die Einzelgruppen-Mittelwerte liegen gleichmäßig gruppiert um den der Gesamtgruppe (0,059 mg/dl) mit etwas schwankenden Standardabweichungen (siehe 4.2.2). Gruppe 3 fällt durch einen sehr hohen, mehr als das Doppelte des Gesamtgruppen-Wertes betragenden Mittelwert auf. Gruppe 2 weist mit dem niedrigsten Minimum (0,004 mg/dl) und dem höchsten Maximum (0,247 mg/dl) eine extreme Wertespanne vor. Für die Gesamtgruppe der Strauße gilt für die Cu-Serumwerte ebenfalls das beim Zn Gesagte, auch hier übersteigt die Spannweite (0,004 - 0,247 mg/dl) die der bisherigen Straußenliteratur (siehe 2.2.7.1).

Mn: Die Mittelwerte der Einzelgruppen weichen von dem der Gesamtgruppe (0,015 mg/dl) weniger als dessen Standardabweichung ($\pm 0,006$ mg/dl) ab, mit Ausnahme von Gruppe 3, deren Mittelwert etwas höher liegt. Bei den Gruppen 2, 11 und 15 sind starke Unterschiede zwischen den gemessenen Minima und Maxima festzustellen (siehe 4.2.2). Bei den Mn-Serumwerten der Gesamtgruppe fallen die Spannweite (0,001 - 0,029 mg/dl) und der 95%-Referenzbereich (0,003 - 0,028 mg/dl) im Vergleich zum Mittelwert groß aus, wobei nur ein geringer Unterschied zwischen der Gesamt-Spannweite und dem 95%-Referenzbereich

besteht. Maximum, 97,5%-Quantil und Mittelwert sind deutlich höher als in der bisher bekannten Straußenliteratur (siehe 2.2.8.1).

Se: Die Mehrzahl der Mittelwerte der Einzelgruppen liegen unterhalb oder um den Gesamt-Mittelwert (0,03 mg/dl), wobei drei Gruppen niedrigere Mittelwerte vorweisen, vor allem Gruppe 4 (siehe 4.2.2). Hingegen haben die Gruppen 6, 7, 11 und 15 höhere Mittelwerte, besonders der Mittelwert von Gruppe 11 (0,077 mg/dl) liegt mit einem Wert von mehr als dem Doppelten des Gesamt-Mittelwerts weit oberhalb aller anderen Mittelwerte und meist auch oberhalb der Maxima der anderen Gruppen. Die hohen Se-Werte der Tiere in Gruppe 11 könnten durch eine erhöhte Selen-Aufnahme mit dem Futter verursacht sein. Gerade beim Se, das inzwischen in nicht unerheblichen Konzentrationen Bestandteil praktisch aller Mineralstoffvormischungen ist, könnte eine erhöhte Se-Zufütterung die Ursache für diese hohen Se-Serumwerte sein. Es kann davon ausgegangen werden, daß fast jeder Landwirt bzw. Farmer Mineralstoffvormischungen in irgendeiner Form entweder zusätzlich mit ins Futter gibt oder aber schon in das Grundfutter einmischt, dies gilt auch für die Straußenindustrie. Wo die Toleranzgrenze für eine alimentäre Se-Aufnahme liegt, ist bisher für Strauße nicht bekannt, wie das auch für die meisten anderen, hier untersuchten Elemente der Fall ist. Auf der anderen Seite könnten die niedrigen Se-Werte der Gruppe 4 durch eine marginale Unterversorgung mit Se oder einen kurzfristigen Se-Mangel bedingt sein. Ein längerfristiger Se-Mangel hätte im fortgeschrittenen Stadium Symptome hervorrufen sollen (Muskelschwäche, Festliegen) und wäre wahrscheinlich bei der Fleischschau durch weißfleischige bzw. bleiche Muskelpartien aufgefallen.

Die Gesamtgruppen-Werte sind zwar nicht repräsentativ für die Einzelgruppen, stellen aber die wichtige und letztlich ausschlaggebende Datenbasis für von südafrikanischen Farmen stammende Strauße dar. Die Se-Serumwerte in der Gesamtgruppe haben eine durch die Unterschiede zwischen den Gruppen geprägte Werteverteilung. Die Standardabweichung ($\pm 0,015$ mg/dl) beträgt 50 % des Mittelwerts, die extreme Spannweite (0,004 - 0,096 mg/dl) wird im 95%-Referenzbereich (0,008 - 0,079 mg/dl) relativiert. Durch diesen sind diese Selen-

Serumwerte wichtige Referenzwerte, da bisher hierzu noch keine Straußenwerte in der Literatur existieren. Die Werte sind mit Literaturwerten von anderen Ratiten und Hühnern vergleichbar (siehe 2.2.9.1). Die Qualität der Se-Vollblutwerte (siehe 5.6.1) ist durch eine konstantere Verteilung besser, allerdings existieren zum Vollblut bei allen Tierarten noch weniger Literatur-Vergleichswerte als zum Serum.

Cr: Die Mittelwerte der Einzelgruppen sind konstant um den Gesamt-Mittelwert (0,017 mg/dl) gruppiert und haben vergleichbare Standardabweichungen und Wertespannen (siehe 4.2.2). Die Gesamtgruppen-Werte repräsentieren somit die einzelnen Gruppen gut. Die Verteilung der Cr-Serumwerte in der Gesamtgruppe ist gleichmäßig mit einer kleinen Standardabweichung ($\pm 0,005$ mg/dl) und einem engen 95%-Referenzbereich (0,011 - 0,03 mg/dl). Vom Strauß existieren hierzu noch keine Literaturangaben. Die in der Literatur genannten Werte vom Huhn (siehe 2.2.10.1) entsprechen etwa den Werten dieser Untersuchung, wobei die Spannweite hier (0,009 - 0,036 mg/dl) etwas größer ist als beim Huhn.

Co: Zwischen den Mittelwerten der Einzelgruppen sind zum Teil erhebliche Unterschiede zu verzeichnen, die auch an den unterschiedlichen Spannweiten zu erkennen sind (siehe 4.2.2). Hierbei haben die stark unterschiedlichen Konzentrationen im oberen Wertebereich der Gruppen den größten Einfluß. Die Gesamtgruppen-Werte können aufgrund der genannten Variation zwischen den Gruppen nicht als repräsentative Werte für die einzelnen Gruppen angesehen werden. Bei den Co-Serumwerten der Gesamtgruppe ist der Absolutwert der Standardabweichung ($\pm 0,011$ mg/dl) fast so groß wie der Mittelwert (0,013 mg/dl), bedingt durch sehr große Unterschiede zwischen den kleinsten (0,001 mg/dl) und größten (0,049 mg/dl) gemessenen Werten. Trotzdem stellt der 95%-Referenzbereich (0,002 - 0,041 mg/dl) eine gute Vergleichsbasis für zukünftige Untersuchungen dar. In der Literatur sind bisher keine Straußenwerte hierzu genannt, der Wertebereich ist vergleichbar mit Literaturwerten vom Huhn (siehe 2.2.11.1), fällt aber größer aus.

Na, K und Cl: Die Natrium-Mittelwerte der Einzelgruppen verteilen sich über den Bereich der Standardabweichung vom Gesamt-Mittelwert (166 ± 14 mmol/l), wobei die Mittelwerte der Gruppen 8, 9 und 10 vergleichsweise hoch sind, ebenso sind die Maxima dieser drei Gruppen die höchsten, die vorkommen (siehe 4.2.2). Gruppe 2 hingegen fällt durch das mit Abstand niedrigste Minimum auf (115 mmol/l; es handelt sich um einen Einzelwert in dieser Gruppe), was durch eine Na-Unterversorgung oder aber durch eine Malabsorption oder einen erhöhten Elektrolytverlust eines beispielsweise an Diarrhoe leidenden Tieres bedingt sein könnte. Die Kalium-Einzelgruppen-Werte sind ähnlich wie die Na-Werte verteilt, wobei hier kaum eine Gruppe durch hohe oder niedrige Werte auffällt (Gesamtgruppe: $\bar{x} \pm s = 4,1 \pm 1,4$ mmol/l; siehe 4.2.2). Gruppe 3 hat den höchsten Mittelwert und ein hohes Maximum, Gruppe 15 das höchste Maximum (8,7 mmol/l). Bei beiden Gruppen und generell für die Kalium-Serumwerte muß in Betracht gezogen werden, daß Werte einzelner Tiere bei den K-Analysen sehr anfällig für Werteverstärkungen nach oben aufgrund von Diffusion oder Hämolyse sein können (siehe 5.3.1). Dadurch können sich auch die Werte der Gruppe bei relativ kleinen Gruppen (wie hier 10 Tiere) mitverschieben. Bei den Chlorid-Werten ist ein Vergleich der Einzelgruppen untereinander und mit der Gesamtgruppe ($\bar{x} \pm s = 127 \pm 13$ mmol/l; siehe 4.2.2) nicht sinnvoll, da nur zwei Proben je Gruppe analysiert werden konnten.

Für die Na-, K- und Cl-Konzentrationen der Gesamtgruppe der 202 Strauße kann gesagt werden, daß - typisch für die Elektrolyte - die Mehrzahl der Werte relativ eng um den Mittelwert herum gruppiert sind, was an der im Vergleich zum Mittelwert verhältnismäßig kleinen Standardabweichung zu sehen ist. Beim K fällt diese etwas größer aus, eine breitere Wertestreuung liegt vor. Wie schon gesagt kann dies damit zusammenhängen, daß einige der Proben erhöhte K-Werte aufweisen, die auf K-Ionen-Diffusion aus den Blutzellen ins Serum zurückzuführen sind, eventuell auch auf eine unbemerkte Hämolyse (siehe 5.3.1). Dadurch muß mit einer geringgradigen Verschiebung des K-Mittelwertes und der K-Obergrenzen im Serum nach oben gerechnet werden. Da aber bei den meisten Serumproben, die nicht unter optimalen Laborbedingungen gewonnen werden, mit

vergleichbaren Diffusionsprozessen gerechnet werden muß, sollten auch diese etwas erhöhten K-Werte zu den "Normalwerten" gezählt werden. Diese Ansicht wird durch die gute Übereinstimmung der Werte mit der Straußenliteratur bestätigt (siehe 2.2.13.1). Durch den 95%-Referenzbereich fallen etwaige Extrem-Werte bei einer großen Probenzahl dann in den Bereich der "Ausreißerwerte" (Ausreißerwerte = Werte, die nach oben oder unten aus der großen Mehrheit der Proben herausfallen und häufig auf Mängel bei der Probengewinnung oder den Probenanalysen zurückzuführen sind. Sie führen bei einer Betrachtung der Gesamtspannweite statt des 95%-Referenzbereichs zu einer Verzerrung der Werteverteilung. Bei Blutprobennahmen auf dem Schlachthof und auf Farmen liegen fast nie optimale Laborbedingungen vor). Die Gesamtspannweite (R) der Na-, K- und Cl-Werte ist nicht auffallend größer als der 95%-Referenzbereich (Ref.ber.) derselben (Natrium: R = 115 - 204 mmol/l; Ref.ber. = 140 - 197 mmol/l. Kalium: R = 1,5 - 8,7 mmol/l; Ref.ber. = 1,9 - 7,7 mmol/l. Chlorid: R = 104 - 162 mmol/l; Ref.ber. = 104 - 155 mmol/l). Hier ist also nicht mit "Ausreißerwerten" zu rechnen. Beim Na ist das 95%-Quantil und beim Cl das 2,5%-Quantil fast identisch mit dem entsprechenden Maximum bzw. Minimum. Trotzdem stellt der 95%-Referenzbereich die aussagekräftigste Größe dar. Die bei den drei Elementen gemessenen Werte liegen in einem mit den Literaturwerten von Straußen vergleichbaren Bereich (siehe 2.2.12.1, 2.2.13.1 und 2.2.14.1). Beim Na und Cl überschreiten sie die aus der Literatur bekannten Wertespannen, zusätzlich unterschreiten sie diese beim Na. Hierzu muß gesagt werden, daß bei der starken Erhöhung der Probenzahl durch die eigene Untersuchung verglichen zur bisher bekannten Literatur auch mit einer Erweiterung der Gesamt-Wertespannweite gerechnet werden muß. Dies ist beispielsweise daran zu erkennen, daß die Spannweiten der Na- und Cl-Werte beim Huhn (siehe 2.2.12.1 und 2.2.14.1), von dem sicher viel mehr Einzeldaten vorliegen, größer sind als die aus der bisherigen Straußen-Literatur bekannten Wertespannen und dadurch eine bessere Übereinstimmung mit den Werten dieser Untersuchung zeigen. Hierbei muß natürlich beachtet werden, daß es sich um verschiedene Spezies handelt.

5.3.4 VERSCHIEDENE FAKTOREN, DIE DIE KONZENTRATIONEN IM SERUM BEEINFLUSSEN KÖNNEN

Serum ist Transportmedium und Kurzzeitspeicher für Elektrolyte, Mengen- und Spurenelemente. Dadurch unterliegen diese Elemente zum Teil kurzfristigen Schwankungen in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren. Hier ist vor allem die Nahrungsaufnahme zu nennen. Je nach Fütterungsintervallen oder der letzten Fütterung vor der Schlachtung muß mit Schwankungen bestimmter Serumwerte gerechnet werden. ROLAND et al. (1972) weisen beispielsweise auf einen möglichen Zusammenhang zwischen Futteraufnahme und Ca-Konzentration im Serum hin. Bei den hier untersuchten Schlachtstraußen war die Zeitdifferenz zwischen letzter Fütterung und Schlachtung in aller Regel zwischen 4 und 18 Stunden (die genauen Zeiten für die verschiedenen Gruppen waren nicht erhältlich). Die Strauße werden nach Ankunft auf dem Schlachthof bis zur Schlachtung in Ställen mit Tränken vor Ort gehalten. Bei wesentlicher Überschreitung der 18 Stunden werden sie dort wieder gefüttert. Wasser ist für die Tiere, außer während des Transports selbst, immer verfügbar.

Außerdem sind auch Schwankungen der Serumkonzentrationen in Abhängigkeit vom Tag-Nacht-Rhythmus und damit von der Tageszeit der Blutprobennahme bekannt, weshalb unter 3.1.2.2 der Zeitraum der Tötung und der direkt anschließenden Blutprobengewinnung bei den Schlachtstraußen (6 bis 14 Uhr) angegeben wurde. Zusätzlich nimmt bei weiblichen, adulten Vögeln die Legetätigkeit zumindest auf manche Serumparameter Einfluß. So wurde bei Hühnern kurz vor und während der Legeperiode von deutlich höheren Ca-Serumwerten als bei nichtlegenden Hennen und männlichen Tieren berichtet (RIDDLE & REINHART, 1926; BALDINI & ZARROW, 1952). Zusätzlich wurden beim Huhn Schwankungen der Ca- und P-Serumwerte in Abhängigkeit vom 24-Stunden-Rhythmus der Eischalenbildung gesehen, bei denen aber die Autoren zum Teil widersprüchlicher Meinung sind. MILLER et al. (1977) fanden beispielsweise Unterschiede in den P-Serumwerten und praktisch konstante Ca-Serumwerte, während PAUL und SNETSINGER (1969) Unterschiede in den Ca-

Serumwerten feststellten. Ob ähnliche Schwankungen auch bei den alle 48 Stunden legenden Straußenhennen vorkommen, wurde noch nicht erforscht. Ca- und P-Serumwerte von legenden Straußenhennen können also nur unter Vorbehalt mit den Werten anderer Altersklassen oder des anderen Geschlechts verglichen werden. Dies trifft eventuell auch für andere Elemente zu, die in der Straußenei-Schale bzw. im Ei enthalten sind, wenn auch mit deutlich geringerem Anteil. Beispiele hierfür wären Mg, Fe, Cu, Mn, Na, Si, Sr (KLÖS et al., 1976).

Generell muß bei den Serumwerten, wie auch bei den anderen Geweben, mit altersabhängigen Schwankungen, vor allem bei den Küken und Jungtieren, gerechnet werden. Dies gilt gleichermaßen für Strauße wie für alle Wirbeltiere.

5.4 Analysen der Leberproben

Die Entnahme von Leberproben bei Schlachtstraußen stellt eine einfache und einheitliche Methode der Probengewinnung dar. Bei lebenden Straußen kommt nur die Leberbiopsie mit oder ohne Laparatomie in Frage. Hierbei muß beachtet werden, daß bei der relativ "starren" Konsistenz der Vogelleber bei einer Trokarbiopsie mit starken Blutungen und Infektionsgefahr zu rechnen ist, besonders in Anbetracht der großen Menge an benötigtem Probenmaterial. Für die Biopsieentnahme mit Laparatomie stellt die Blutungsgefahr das Hauptproblem dar. Es wäre sicher ratsam, bei in größerem Umfang bei Straußen geplanten Leberbiopsien zuerst die Erfolgsrate bzw. die Verträglichkeit des Eingriffs bei wenigen Tieren zu testen.

5.4.1 FEUCHTIGKEITSGEHALT DER LEBERN

Zwischen den Mittelwerten und Spannweiten der verschiedenen Gruppen sind kleinere Unterschiede zu erkennen (siehe 4.3.1), die jedoch als von geringer Bedeutung eingeordnet werden können, da Schwankungen im Feuchtigkeitsgehalt von Lebern in Anbetracht der unten genannten normalen Werteschwankungen nur selten metabolischen Unterschieden oder gar pathologischen Veränderungen

zugeordnet werden können. Allerdings ist zu erwähnen, daß Unterschiede im Feuchtigkeitsgehalt einen indirekten Einfluß auf Elementkonzentrationen in der Leber haben. Dadurch hätten verschiedene Proben, die in der Trockenmasse die gleiche Konzentration eines Elements enthalten, als Frischprobe und damit im Körper einen unterschiedlichen Elementgehalt. Auch der Unterschied zwischen Gesamtspannweite und 95%-Referenzbereich beim Feuchtigkeitsgehalt von Leberproben, seien sie in Formalin gelagert oder frisch, ist von geringer Bedeutung. Dies gilt besonders, wenn man berücksichtigt, daß kein konstanter Feuchtigkeitsgehalt auf der Probenoberfläche vorausgesetzt werden kann. Auch bei einer optisch vergleichbaren äußeren Abtrocknung der Proben kann dieser in Wirklichkeit differieren. Außerdem muß der unterschiedliche Ausblutungsgrad bei Schlachttieren mit in Betracht gezogen werden, der sich auch in der Leber zeigt. Aus diesen Gründen ist zu empfehlen, Elementkonzentrationen in der Leber-Trockenmasse zu bestimmen und die Ergebnisse bezogen auf diese anzugeben. Der Feuchtigkeitsgehalt von Leberproben dient bei Vergleichen als Umrechnungsfaktor von auf die Trockenmasse bezogenen Einheiten in auf die Feucht- bzw. Frischmasse bezogene Einheiten und umgekehrt. Hierbei sollte für jede Probe deren spezifischer Feuchtigkeitsgehalt verwendet werden (siehe 5.2.1).

Aufgrund der durch einen unterschiedlichen Ausblutungsgrad der Lebern oder eine unterschiedliche oberflächliche Abtrocknung der Leberproben entstandenen, nicht meßbaren Schwankungen des Feuchtigkeitsgehalts von Schlachttier-Lebern kann dieser nur bedingt als Meßgröße für eine physiologische oder pathologische Leberkonsistenz verwendet werden. Eine pathologische Leberkonsistenz könnte aber einen Einfluß auf den Feuchtigkeitsgehalt einer Leber haben. So müßte beispielsweise bei einer bindegewebigen Induration der Leber infolge chronischer Entzündungsprozesse möglicherweise mit einem erniedrigten Feuchtigkeitsgehalt dieser Leber gerechnet werden.

Da bei allen untersuchten Leberproben der Unterschied zwischen der Wägung nach 48 h Trocknen und der zweiten Wägung nach weiteren 24 h Trocknen weniger als 0,1 % betrug (siehe 4.3.1), ist bestätigt, daß die Proben bis zu

konstantem Gewicht getrocknet waren. Die genannten, geringen Wägungs-Unterschiede können allein schon durch Meßungenauigkeit verursacht sein.

Die Ergebnisse in 4.3.1 sind vergleichbar mit den Ergebnissen der Untersuchung über Feuchtigkeitsgehalte von frischen und Formalin-gelagerten Leberproben in 4.1.2. Der mittlere Feuchtigkeitsgehalt der Lebern für die Gesamtgruppe der 202 untersuchten Strauße (71,4 %; siehe 4.3.1) ist geringgradig, aber nicht signifikant höher als die in 4.1.2 präsentierten Mittelwerte (t-Test, 95%-Konfidenzintervall). Die Standardabweichungen sind vergleichbar, die Wertespannweiten decken sich.

Der Vergleich der Ergebnisse aus 4.3.1 mit den unter 2.3.1 wiedergegebenen Literaturdaten von GERBIG (1992) bei Stockenten und den Daten von THERON et al. (1974) bei Rindern zeigt, daß die Feuchtigkeitsgehalte der Lebern dieser drei Spezies sich nicht sehr unterscheiden, wobei die Mittelwerte der Strauße und der Stockenten sich mehr ähneln, verglichen mit dem der Rinder.

5.4.2 ELEMENT-KONZENTRATIONEN IN DEN LEBERN

Die in 4.3.2 präsentierten Ergebnisse der Leberanalysen beziehen sich auf die Trockenmasse der Leberproben, dadurch sind Variationen aufgrund eines unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalts ausgeschlossen. Im folgenden werden zuerst Besonderheiten der Einzelgruppen besprochen, danach wird nochmals zusammenfassend auf die Gesamtgruppe näher eingegangen.

Ca: Die Mittelwerte der Einzelgruppen weisen erhebliche Unterschiede auf, sie variieren zwischen weniger als einem Drittel des Gesamt-Mittelwerts (349 mg/kg) bis zu über dem Doppelten dessen (siehe 4.3.2). Die Gruppen 1, 7, 8 und 9 besitzen besonders niedrige und die Gruppen 10, 16, 17 und 18 besonders hohe Mittelwerte. Außerdem bewegen sich die Maxima der Gruppen 1, 8 und 9 etwa im Wertebereich der Minima der Gruppen 11, 12, 17 und 18. Die Gesamtgruppen-Werte sind deshalb nur für manche der Einzelgruppen repräsentativ.

Gesamt-P: Die Einzelgruppen-Werte beim P sind viel konstanter als beim Ca, nur Gruppe 1 fällt durch einen niedrigen und Gruppe 14 durch einen hohen Mittelwert auf (siehe 4.3.2). Die Gesamtgruppe repräsentiert dadurch die Einzelgruppen gut.

Mg: Beim Mg sind Mittelwerte und Spannweiten der Einzelgruppen sehr konstant, Gruppe 18 besitzt einen etwas niedrigeren Mittelwert als die anderen Gruppen (siehe 4.3.2). Die Gesamtgruppe kann als repräsentativ angesehen werden.

Zn: Beim Zn fallen die Gruppen 11 und 18 durch niedrige und Gruppe 1 durch einen hohen Mittelwert auf, ansonsten sind die Mittelwerte gut um das Gesamt-Mittel (176 mg/kg) gruppiert, wodurch die Gesamtgruppe für die Einzelgruppen stehen kann (siehe 4.3.2).

Fe: Die Fe-Werte verhalten sich etwa wie die Ca-Leberwerte, es bestehen große Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. So betragen die Mittelwerte der Gruppen 11 und 20 nur ein Drittel des Gesamt-Mittelwerts (1584 mg/kg), während die der Gruppen 1 und 4 das Doppelte dessen und mehr betragen (siehe 4.3.2). Dadurch reflektieren die Gesamtgruppen-Werte nicht die einzelnen Gruppen.

Cu: Die Mittelwerte der einzelnen Gruppen liegen gleichmäßig um den Gesamt-Mittelwert (14,8 mg/kg) gruppiert. Nur Gruppe 5 fällt durch einen niedrigeren Wert auf, außerdem liegt das Maximum dieser Gruppe (11,6 mg/kg) noch unterhalb der Minima einiger anderer Gruppen (siehe 4.3.2). Die Gesamtgruppe repräsentiert dennoch die Einzelgruppen, abgesehen von der gerade erwähnten Gruppe 5.

Mn: Die Mn-Werte der Einzelgruppen sind vergleichbar. Gruppe 5 fällt durch einen niedrigeren Mittelwert und ein viel niedrigeres Minimum als die der anderen Gruppen auf (siehe 4.3.2). Ansonsten reflektiert die Gesamtgruppe die Werteverhältnisse der Einzelgruppen.

Se: Die Se-Mittelwerte liegen gleichmäßig um den Gesamt-Mittelwert (4,0 mg/kg) gruppiert (siehe 4.3.2). Gruppe 11 weist einen hohen Mittelwert (6,31 mg/kg) und

ein sehr hohes Maximum (15,31 mg/kg) vor; auch bei den Serum-Se-Werten hat Gruppe 11 einen hohen Mittelwert (siehe 5.3.3). Die dort beschriebene Möglichkeit der erhöhten alimentären Se-Aufnahme wird dadurch untermauert. Hingegen zeigt Gruppe 4, deren Serum-Se-Werte niedrig ausgefallen waren, keine derartigen Werte bei den Leber-Se-Werten. Die Gesamtgruppe spiegelt gut die Werteverhältnisse der Einzelgruppen wider.

Cr: Hier besteht zwischen den meisten Gruppen keine allzu große Variation (siehe 4.3.2), trotzdem fallen zwei Gruppen aus dem Rahmen, was sich in der den Gesamt-Mittelwert (1,8 mg/kg) übersteigenden Standardabweichung ($\pm 2,14$ mg/kg) zeigt. Gruppe 8 hat das weitaus größte Maximum (16,49 mg/kg) und den weitaus größten Mittelwert (5,79 mg/kg), der etwa das 15-fache des bei Gruppe 15 gemessenen kleinsten Mittelwerts (0,39 mg/kg) beträgt. Gruppe 15 besitzt auch das kleinste Minimum (0,16 mg/kg). Trotzdem repräsentiert die Gesamtgruppe die restlichen Einzelgruppen.

Co: Die Mittelwerte sind gleichmäßig um den Gesamt-Mittelwert (0,83 mg/kg) verteilt, den größten Mittelwert und das größte Maximum (3,24 mg/kg) stellt hier Gruppe 4. Ansonsten sind noch Gruppe 6 und 8 zu erwähnen, die ebenfalls einen etwas höheren Mittelwert als die anderen Gruppen haben, deren Einzeltierwerte aber alle relativ hoch sind, was man an den hohen Minima dieser beiden Gruppen sieht (siehe 4.3.2). Diese Minima liegen deutlich über dem Maximum von Gruppe 18, die auch den kleinsten Mittelwert und das kleinste Minimum (0,18 mg/kg) besitzt. Ansonsten spiegelt die Gesamtgruppe die Einzelgruppen-Werte gut wider.

Pb: Die Pb-Mittelwerte der Einzelgruppen weisen eine breite Verteilung vor (siehe 4.3.2), allerdings bei weitem nicht so stark wie die der Pb-Knochenaschewerte (siehe 5.5.3). So haben die Gruppen 7 und 18 besonders kleine Mittelwerte, während die Gruppen 4 und 6 sehr große haben. Gruppe 4 besitzt auch das mit Abstand größte Maximum (14,81 mg/kg). Die Gruppen 7, 8, 14 und 18 haben Minima von unter 0,01 mg/kg (bis zu 0,001 mg/kg), die an die Grenze der

Meßgenauigkeit und fast schon an die Nachweisgrenze stießen. Die Gesamtgruppe mit einem Mittelwert (1,29 mg/kg) übertreffenden Standardabweichung ($\pm 1,61$ mg/kg) repräsentiert die Einzelgruppen nur zum Teil.

As: Die Mittelwerte der einzelnen Gruppen weisen eine gleichmäßige Verteilung vor. Die Mittelwerte der Gruppen 14, 16 und 19 sind verglichen mit dem Gesamt-Mittelwert (0,6 mg/kg) etwas niedrig, die der Gruppen 5, 6 und 8 etwas hoch (siehe 4.3.2), wobei diese Unterschiede nicht so stark wie bei einigen anderen Elementen sind. Dadurch reflektiert die Gesamtgruppe die einzelnen Gruppen gut.

Cd: Die Mittelwerte der Einzelgruppen verteilen sich oberhalb des Gesamt-Mittelwerts (0,25 mg/kg) breiter als unterhalb, wo sie kompakter beieinander liegen (siehe 4.3.2). Nach oben fallen die Mittelwerte der Gruppen 10 und 16 durch hohe Werte auf. Gruppe 13 besitzt außer dem niedrigsten Mittelwert auch das weitaus kleinste Minimum, das unter 0,01 mg/kg und damit an der Grenze der Meßgenauigkeit und nahe an der Nachweisgrenze lag. Die Gesamtgruppe ist zwar für die Mehrzahl der Gruppen repräsentativ, für die gerade genannten und einige andere Gruppen gilt dies jedoch nicht, zumal die Gesamt-Standardabweichung ($\pm 0,35$ mg/kg) den Gesamt-Mittelwert übersteigt.

Zu den **Leberwerten der Gesamtgruppe** der 202 Strauße kann folgendes festgestellt werden:

Fast alle in der Leber bestimmten Elemente (Ca, Zn, Fe, Mn, Se, Cr, Co, Pb, As, Cd), außer den Elementen P, Mg und Cu, zeigen eine sehr große Spannweite der gefundenen Konzentrationen (siehe 4.3.2). Die im Vergleich zu den Maxima sehr kleinen Minima können einerseits darauf hindeuten, daß die Leber nicht das Hauptspeicherorgan ist und nur bei einer höheren, meist alimentären Aufnahme diese Elemente in der Leber gespeichert werden. Wenn solche extremen Wertespannen in der Leber zusammen mit einem ähnlichen Bild desselben Elements in den anderen Körpergeweben auftreten, lassen sie andererseits vermuten, daß diese Elemente in relativ niedrigen Konzentrationen vom Körper

benötigt werden, gleichzeitig aber eine hohe Exposition toleriert wird und dabei diese Elemente schwerpunktmäßig in der Leber gespeichert werden. Diese Speicherung kann temporär sein, wobei das Element bei geringerer Exposition wieder ausgelagert wird, oder aber als eine Akkumulation mit einer langfristigen, schwer reversiblen Speicherung des Elements im jeweiligen Gewebe ablaufen.

Außerdem ist der Absolutwert der Standardabweichung (s) bei Cr, Pb und Cd größer als der jeweilige Mittelwert (\bar{x}), bei Ca und Fe ist s nicht viel kleiner als \bar{x} . Zusätzlich beträgt das 97,5%-Quantil bei Cr, Pb und Cd jeweils mehr als das vierfache des jeweiligen Mittelwerts, bei Ca immerhin noch mehr als das dreifache (siehe 4.3.2). Dies läßt eine starke Streuung der Individualwerte innerhalb der Wertespanne der Gesamtgruppe erkennen. Aufgrund dieser Streuung läßt sich vermuten, daß die bei hoher Exposition erfolgende Speicherung oder Akkumulation dieser Elemente in der Leber nicht systematisch beziehungsweise nachvollziehbar abläuft. Aus der gerade beschriebenen Verteilung der Werte für Ca, Fe, Cr, Pb und Cd kann geschlossen werden, daß Lebergewebe zwar für die Diagnostik von Defizienzen oder Toxikosen dieser Elemente geeignet ist, aber vermutlich keinen großen Nutzen bringt, wenn es sich um marginale oder leicht erhöhte Konzentrationen dieser Elemente im Körper ohne eine klinische Symptomatik handelt. Dabei könnten aber beispielsweise schon hemmende Wechselwirkungen auf den Metabolismus anderer Elemente vorliegen. Auf Mangelercheinungen oder Toxikosen, die in der Regel mit einer klinischen Symptomatik einhergehen, sollten die entsprechenden Leberkonzentrationen der untersuchten Elemente hinweisen.

Bei den Elementen Mn, As und Cd fällt eine große Differenz zwischen dem Minimum und dem 2,5%-Quantil auf. Beim Mn beträgt das 2,5%-Quantil gut das fünffache, beim As gut das vierfache und beim Cd mehr als das 30-fache des kleinsten gemessenen Wertes (siehe 4.3.2). Diese bei den genannten Elementen seltenen, sehr niedrigen und deutlich aus dem 95%-Referenzbereich fallenden Werte könnten wiederum marginale Konzentrationen ohne eine klinische Symptomatik sein. Bei As und Cd sind allerdings bisher kaum Mangelzustände

bekannt, hier könnte es auch sein, daß diese Tiere als einzige einer verhältnismäßig geringen Umweltexposition durch As bzw. Cd ausgesetzt waren.

Die bei Pb und Cd sehr niedrigen Minima (beim Pb auch das 2,5%-Quantil) im Vergleich zu den Maxima, 97,5%-Quantilen und Mittelwerten (siehe 4.3.2) bestätigen den aus der Literatur (siehe 2.1.13 & 2.1.15) bekannten, sehr geringen Minimalbedarf und die Akkumulation dieser Elemente bei hoher Exposition, die beim Pb oral, pulmonal und perkutan und beim Cd oral und pulmonal sein kann. Beim Pb deuten hohe Leberwerte auf eine akute Bleibelastung hin, während hohe Knochenwerte auf eine längerfristige Pb-Exposition verweisen. Beim Cd kommt es in den Hauptspeichern Leber und Niere im Laufe des Lebens und besonders als Jungtier zu einer Akkumulation. Die Konzentrationsunterschiede beim Cd sind höchstwahrscheinlich nicht auf eine durch die geringen Altersunterschiede bedingte, unterschiedliche Akkumulation zurückzuführen, weil dafür die Altersunterschiede bei diesen Straußen zu gering waren und es darauf auch bei den Einzelwerten der Tiere keine Hinweise gibt. Desweiteren fallen bei Pb und Cd die Maxima auf, die fast dreimal so groß wie die entsprechenden 97,5%-Quantile sind. Dies ist ein weiteres Zeichen für die Akkumulation dieser Elemente in der Leber, gerade im Vergleich zu deren "noch normalem", durch das 95%-Referenzintervall markierten Wertebereich.

Die Ca-Leberwerte liegen im Vergleich zu den wenigen Daten aus der Straußenliteratur (nur eine Autorengruppe: SCHEIDELER et al., 1994; Werte bezogen auf die Feuchtmasse, siehe 2.2.2.2) zwar in einer vergleichbaren Größenordnung, ihre Spannweite (32 - 1873 mg/kg) und ihr 95%-Referenzbereich (75 - 1231 mg/kg), vor allem Maximum und 97,5%-Quantil, sind jedoch um einiges größer als der Literatur-Wertebereich, in welchem aber der Mittelwert dieser Untersuchung noch liegt. Für den Gesamt-P-Gehalt der Leber existieren vom Strauß noch keine Angaben; für Rhea und Huhn publizierte Werte hierzu (siehe 2.2.3.2) liegen im Bereich der hier gefundenen Werte für Strauße. Die ermittelten Konzentrationen der Elemente Mg, Zn, Fe und Cu korrelieren in Bezug auf 95%-Referenzbereich und Spannweite sehr gut mit den bisher aus der Straußenliteratur

bekannten Werten (siehe 2.2.4.2, 2.2.5.2, 2.2.6.2 und 2.2.7.2). Zum Mn-Gehalt der Leber gibt es bisher keine Straußenwerte; die Literaturwerte von Rhea, Ratiten und Huhn (siehe 2.2.8.2) sind mit den hier gefundenen Straußenwerten vergleichbar. Bei den Se-Leberwerten besteht generell eine gute Korrelation zwischen den in der Literatur genannten Straußenwerten (SCHEIDELER et al., 1994; siehe 2.2.9.2) und den Leberkonzentrationen der Strauße dieser Untersuchung. Die hier gefundene Se-Spannweite (0,79 - 15,31 mg/kg) ist jedoch größer als der in der Literatur angegebene Wertebereich (kleineres Minimum und größeres Maximum). Angaben über den Cr- und Co-Gehalt der Leber von Straußen waren in der Literatur nicht zu finden; die gemessenen Straußenwerte sind vergleichbar mit Literaturangaben vom Huhn (siehe 2.2.10.2 und 2.2.11.2), wobei die Maxima und 97,5%-Quantile der Cr- und Co-Straußenwerte deutlich über den für das Huhn angegebenen Wertebereichen liegen. Über den Pb-, As- und Cd-Gehalt von Straußenlebern existieren anscheinend ebenfalls keine Angaben in der Literatur; die für alle drei Elemente von Ratiten und Hühnern sowie für Pb und Cd zusätzlich von Wassergeflügel aus der Literatur bekannten Werte (siehe 2.2.15.1, 2.2.16.1 und 2.2.17.1) zeigen aber eine gute Übereinstimmung mit den in dieser Untersuchung erhaltenen Straußenwerten.

5.4.3 VERSCHIEDENE FAKTOREN, DIE DIE KONZENTRATIONEN IN DER LEBER BEEINFLUSSEN KÖNNEN

Ein unterschiedlicher Fettgehalt, und damit eine variierende Grundzusammensetzung der Lebermaterie, können die Konzentrationen verschiedener Elemente in Leberproben beeinflussen, da Lebergewebe und Fettgewebe unterschiedliche Mengen- und Spurenelementgehalte haben. Der unterschiedliche Fettgehalt verschiedener Straußenlebern konnte makroskopisch sehr gut an den Straußenschlachthöfen gesehen werden. Die Farbe der Lebern reichte von einem dunklen rotbraun (wenig Fett) bis zu gelbbraun (viel Fett) mit zum Teil sogar sichtbaren Einziehungen der Oberfläche von der Fett-Zirrhose mancher Lebern. Die Tiere mit sichtbaren Fettlebern fielen in aller Regel auch durch sehr viel Abdominalfett auf.

5.5 Analysen der Humeri

Um eine einheitliche Basis zum Vergleich von Knochenkonzentrationen einer Spezies zu haben, ist es notwendig, sich auf einen spezifischen Knochen im Körper festzulegen, wie hier den Humerus. Entscheidend bei der Auswahl ist, welche Knochen zur Verfügung stehen und ob diese den Schlachttieren nach dem Ausbeinen noch eindeutig zugeordnet werden können. Die Probenentnahme bei Schlachttieren ist mit deutlich weniger Aufwand verbunden als Biopsien bei lebenden Tieren. Biopsien können aber bei wiederholten Untersuchungen am selben Tier in verschiedenem Alter oder auch bei kranken Tieren notwendig werden. BEIGHLE et al. (1993) haben beispielsweise eine Rippenbiopsietechnik bei Rindern beschrieben, die vermutlich auch auf Strauße übertragbar wäre.

Für Schlachtstrauße sind eher ganze Bein- oder Flügelknochen vorzuschlagen. Dadurch sind Mißverständnisse über die Probeentnahmestelle oder die Knochenschnittstellen bei der Probengewinnung ausgeschlossen. Hier stellt der Humerus eine gute Möglichkeit dar. Femur und Tibiotarsus sind bei erwachsenen Straußen sehr groß und unhandlich bei der Verarbeitung. Der Humerus besitzt große Strukturähnlichkeit mit den langen Beinknochen, die im Skelettapparat am stärksten belastet und am häufigsten von pathologischen Veränderungen betroffen sind. Radius und Ulna sind kompaktere, marklose Knochen, die sich hiervon deutlich unterscheiden. Bei den Rippen müßte klar definiert werden, wo die Schnittstellen zum Absetzen dieser liegen sollen.

Man kann bei optisch gesunden Knochen erwarten, daß die beiden symmetrischen Knochen der linken und rechten Körperseite vergleichbare Werte liefern. GERBIG (1992) fand dies bei von ihm auf den Bleigehalt untersuchten Stockentenknochen. Bei unterschiedlichen Knochen trifft das teilweise zu, in der Mehrzahl der Fälle aber nicht, wofür wieder die Studie von GERBIG (1992) Beispiele liefert. Die Knochenkonzentrationen unterscheiden sich auch von Spezies zu Spezies, was den Vergleich zwischen verschiedenen Tierarten für diagnostische Zwecke stark erschwert. Zudem sind bisher für viele Spezies

einschließlich des Strauß nur wenige oder auch keine Daten vorhanden.

Da in vielen Fällen eine Entfettung der Knochen vor der Trocknung und Veraschung durchgeführt wird, sollen hierzu noch einige Literaturdaten zur Orientierung angegeben werden. DOYLE (1979) nennt einen ungefähren Fettgehalt von 10 % im erwachsenen Knochen, etwas variierend je nach Alter, Ernährungsstatus und Spezies (bei Huhn, Pute und Haussäugetieren). FIELD et al. (1974) gaben Fettgehalte für Hühner und Puten, abhängig vom Alter, zwischen 8,7 und 10,8 % an. Im Vergleich verschiedener Knochen hierbei reichte die Spanne von 6,4 bis 12 % Fett, wobei beim markhaltigen Femur der Hühner der höchste Fettgehalt gefunden wurde.

5.5.1 TROCKENMASSEGEHALT DER HUMERI

Der Trockenmassegehalt der Knochen kann der Umrechnung von Konzentrationen auf die Frischmasse des Knochens dienen. Zudem ist in der Regel eine altersabhängige Zunahme des Trockenmassegehalts bei den meisten Spezies zu beobachten. Dies wurde für Hühner, Puten, Rinder, Schafe und Schweine von FIELD et al. (1974) beschrieben, wobei alle Zunahmen signifikant waren (Werte siehe unten).

Häufig werden die Werte bezogen auf die fettfreie Trockenmasse angegeben (bei dieser Untersuchung finanziell nicht realisierbar). Da bei dieser Untersuchung keine (chemische) Entfettung der Knochen vor der Trocknung stattfand, wurde das im Knochen enthaltene Fett mitgetrocknet. Wie hoch der Anteil der im Fett enthaltenen Feuchtigkeit am Gesamtfeuchtigkeitsgehalt des Knochens ist, kann nicht gesagt werden. Gerade bei fetthaltigen Knochen, wie zum Beispiel markhaltigen Röhrenknochen (Femur, Humerus), muß mit einem gewissen Fettanteil gerechnet werden (siehe 5.5). Dies führt zu zusätzlichen Schwankungen im Trockenmassegehalt. Es handelt sich in dieser Untersuchung um die nicht fettfreie (d.h. nicht chemisch entfettete) Trockenmasse der Knochen und nur für diese Einheit können die Ergebnisse ohne Vorbehalt als Vergleichsgröße dienen.

Die Werte von FIELD et al. (1974) für Hühner und Puten sollen hier genannt werden, da sich die von diesen Autoren verwendete Einheit ebenfalls auf die nicht fettfreie Knochenmasse bezieht. Für 2-3 Monate alte Hühner nennen die Autoren einen mittleren Trockenmassegehalt im frischen, nicht fettfreien Knochen von 49,9 %, während er bei 12-13 Monate alten Hühnern bei 61 % lag. Für 5-6 Monate alte Puten geben sie einen Mittelwert von 54,1 % an und für 12-13 Monate alte Puten 59,6 %. Verglichen hiermit liegen die Ergebnisse für die Gesamtgruppe der Strauße dieser Untersuchung deutlich höher. Mit einem Mittelwert von 79,5 % und einer Wertespanne von 62,6 % bis 88,5 % für den Trockenmassegehalt im nicht fettfreien Knochen liegt sogar der niedrigste Wert der 202 Strauße noch über dem höchsten Mittelwert von Hühnern oder Puten. Man kann davon ausgehen, daß diese Werte zwischen den genannten Spezies nicht vergleichbar sind.

Die Mittelwerte der einzelnen Gruppen von Schlachtstraußen sind eng um den Gesamt-Mittelwert gruppiert und die Wertespannen vergleichbar (siehe 4.4.1), wodurch die Gesamtgruppe eine gute Reflektion der Einzelgruppen liefert.

5.5.2 ROHASCHEANTEIL DER HUMERI

Der Rohascheanteil in Knochen variiert sowohl zwischen den Spezies, als auch innerhalb dieser. Innerhalb der Spezies findet man, neben individuellen Unterschieden, besonders Unterschiede zwischen Tieren verschiedenen Alters und zwischen den Geschlechtern. FIELD et al. (1974) fanden bei Hühnern, Puten, Rindern, Schafen und Schweinen einen altersabhängigen Anstieg des Knochenaschegehalts im trockenen, fettfreien Knochen, der aber nur bei den Puten signifikant war (auf die Wiedergabe der Werte wird verzichtet, da die Einheit nicht mit der dieser Untersuchung übereinstimmt). Auch zwischen verschiedenen Knochen des Skeletts muß mit zum Teil erheblichen Variationen gerechnet werden. Dies wurde beispielsweise von GERBIG (1992) für Stockenten beschrieben. Beim Strauß wurde noch keine Studie über die Abhängigkeit des Rohaschegehalts von Alter, Geschlecht oder verwendetem Knochen veröffentlicht, weshalb bisher keine Aussage gemacht werden kann, ob oder wie starke

Schwankungen zu erwarten sind. Allerdings ist bei den von SCHEIDELER et al. (1994) bei Straußen verschiedenen Alters gefundenen Werten die Tendenz zu erkennen, daß der Rohascheanteil der Knochen mit zunehmendem Alter auch beim Strauß zunimmt (siehe 2.3.2).

Aus den unter 4.4.2 präsentierten und sehr gleichmäßig um den Mittelwert der Gesamtgruppe (44,9 %) gelegenen Mittelwerten der einzelnen Gruppen fällt nur der höhere Wert von Gruppe 10 heraus. Bei dieser Gruppe sind zudem alle Einzelwerte einheitlich relativ hoch, was an ihrem hohen Minimum und der sehr kleinen Standardabweichung zu erkennen ist. Damit unterscheidet sich die Gruppe 10 zwar nicht sehr stark, aber doch deutlich von den anderen Gruppen, welche jedoch gut von der Gesamtgruppe repräsentiert werden.

Die Daten der Gesamtgruppe sollen als Referenzwerte für die untersuchte Altersgruppe von 10 - 16 Monate alten, südafrikanischen Farmstraußen dienen. Der 95%-Referenzbereich liegt bei 38,9 % bis 50,5 % Rohasche im trockenen, nicht fettfreien Knochen. Er liegt damit in einem den Literaturdaten (siehe 2.3.2) vergleichbaren Bereich, ebenso wie die Gesamtspannweite der gefundenen Werte (37,0 - 55,2 %). Die unter 2.3.2 aufgeführten Literaturdaten werden aber an dieser Stelle nicht direkt mit den Ergebnissen dieser Studie verglichen, da sie sich auf trockenen, fettfreien Knochen beziehen und es sich bei den untersuchten Ratiten-Knochen um Tibiotarsi handelte. Um die Daten ungefähr vergleichen zu können, muß man in Betracht ziehen, daß der Anteil an Rohasche im selben Knochen bezogen auf die fettfreie Knochentrockenmasse höher ist als bezogen auf die nicht fettfreie Knochentrockenmasse. Somit sollten die Werte dieser Untersuchung (bezogen auf die nicht fettfreie Knochentrockenmasse) etwas unter den auf die fettfreie Knochentrockenmasse bezogenen Werten von SCHEIDELER et al. (1994) liegen. Das ist auch der Fall.

Der 95%-Referenzbereich ist für Vergleiche des Knochenaschegehalts zu empfehlen, da Werte außerhalb dieses Bereichs unter Umständen schon Werte von Tieren mit pathologischen Veränderungen, aber ohne klinische Anzeichen

darstellen. Sehr niedrige Rohaschegehalte deuten auf eine mangelhafte Verknöcherung des Knochens hin, oft handelt es sich um eine mangelhafte Kalzifizierung. Mögliche Ursachen hierfür wären Vitamin D-, Ca- oder P-Mangel. Hingegen sind sehr hohe Rohaschegehalte im Knochen eine Indikation für eine übermäßige Mineralisierung des Knochens, was einer zu starken und damit pathologischen Ablagerung von Mineralien (und Spurenelementen) im Knochen entspricht. Ca ist hier das bei weitem häufigste Element. Dies kann beispielsweise durch zu hohe Vitamin D- (vor allem Vitamin D₃) oder Ca-Aufnahme mit dem Futter (oder Trinkwasser) verursacht sein.

Wenn von möglichen pathologischen Veränderungen am Skelettapparat die Rede ist, sind auch die unter 2.4 beschriebenen Beinveränderungen bei Straußen zu erwähnen. Ursachen für pathologische Veränderungen am Skelettapparat können unter anderem Mängel im Mineral- und Spurenelement-Metabolismus sein, ein veränderter Rohaschegehalt der Knochen ist nur eine Folge dessen. Allerdings sind bei Tieren im Alter der untersuchten Schlachtstraube (oder älteren Tieren) kaum bzw. äußerst selten solche Beinveränderungen zu erwarten, da die daran erkrankenden Tiere in der Regel Straußenküken bis zu einem Alter von etwa 6 Monaten sind (siehe 2.4). Die meisten der erkrankten Küken fallen schon lange vor dem Schlachtalter aus, sei es durch Verenden an Schwäche oder Infektionen nach Festliegen oder durch Tötung aufgrund infauster Prognose. Die wenigen Küken, die von leichteren Erkrankungen genesen, erreichen dann in der Regel das Schlachtalter in einer guten und gesunden körperlichen Verfassung.

5.5.3 ELEMENT-KONZENTRATIONEN IN DER ROHASCHE DER HUMERI

Die Angabe der Knochen-Konzentrationen bezogen auf die Rohasche ergibt die akkuratesten Ergebnisse, da nach jeder korrekt durchgeführten Knochen-Veraschung nur noch reine Rohasche vorhanden ist. Die bei den auf die Trocken- oder Frischmasse bezogenen Ergebnissen als zusätzliche Variablen vorkommenden Gehalte an organischem Material (vor allem Protein und Fett) und Feuchtigkeit fallen weg. BEIGHLE et al. (1994) bestätigen diese Aussage in ihrer

Studie über den Mineralgehalt von Rinderrippen, in welcher die auf die Rohasche bezogenen Ergebnisse den niedrigsten Variationskoeffizienten vorwiesen.

Bei der folgenden Besprechung der Rohaschekonzentrationen aus 4.4.3 wird bei den Elementen zuerst auf Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten zwischen den 20 Straußen-Gruppen eingegangen, dann werden die Werte der Gesamtgruppe der 202 Strauße besprochen. Zum Schluß erfolgt zusammenfassend für die untersuchten Elemente der Vergleich mit den Literaturwerten aus 2.2.

Ca, P und Mg: Die Werte der drei am häufigsten im Knochen vertretenen Elemente Ca, P und Mg sind bei einer Spezies, demselben Körperknochen und gesunden Tieren einer Altersgruppe immer sehr konstant. So ergeben auch die Wertebilder (\bar{x} , s und R) der einzelnen Gruppen für Ca, Gesamt-P und Mg (siehe 4.4.3, Tab. 50 & 51) im Vergleich untereinander und mit den jeweiligen Gesamtgruppen-Werten ein einheitliches und konstantes Bild. Beim Ca haben, verglichen mit dem Mittelwert der Gesamtgruppe (41,2 %), die Gruppen 1 und 5 einen etwas niedrigen Mittelwert, während der Mittelwert von Gruppe 20 relativ hoch ausfällt. Auch Minimum und Maximum von Gruppe 20 fallen hoch aus. Beim Gesamt-P sind die Mittelwerte der Einzelgruppen gleichmäßig und eng um den Gesamt-Mittelwert (16,8 %) gruppiert. Nur bei Gruppe 2 liegt der Mittelwert etwas über denen der anderen Gruppen (die Serumwerte für anorganisches Phosphat haben bei dieser Gruppe ebenfalls einen erhöhten Mittelwert, siehe 4.2.2). Die Mg-Mittelwerte der Einzelgruppen bieten zusammen mit dem Gesamt-Mittelwert (0,49 %) ein homogenes Bild. Bei allen drei Elementen (Ca, Gesamt-P, Mg) werden die verschiedenen Gruppen gut durch die Gesamtgruppe repräsentiert.

Bei der Gesamtgruppe der Strauße findet man bei Ca, P und Mg im Vergleich zu den anderen Elementen eine geringe Standardabweichung und eine enge Wertespanne (siehe 4.4.3, Tab. 50 & 51). Dies liegt vor allem daran, daß Ca und P, sowie in geringerem Maße Mg, als Hauptbestandteile der Knochen für deren Struktur und Stabilität eine wichtige Rolle spielen. Deshalb werden ihre Konzentrationen und das Ca:P-Verhältnis konstant gehalten. Je nach Funktion

des einzelnen Knochens im Körper variieren die Konzentrationen geringfügig. Als Orientierung über die Variation der Ca-Konzentration in der Knochenasche verschiedener Spezies kann die Veröffentlichung von FIELD et al. (1974) betrachtet werden. Sie bestimmten die Ca-Konzentrationen in der Knochenasche verschiedener Knochen (Synsakrum, Halswirbel, Rippen und Femur) von Hühnern, Puten, Rindern, Schafen und Schweinen. Bei keiner der fünf Spezies konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den genannten Knochen gefunden werden. Außerdem wurde ein geringer, aber nur bei den Puten signifikanter Anstieg der Ca-Konzentration mit zunehmendem Alter beobachtet.

Zn: Die Mittelwerte der Einzelgruppen weisen beim Zink schon eine deutlich größere Streuung um den Gesamt-Mittelwert (167 mg/kg; siehe 4.4.3) auf als bei Ca, P und Mg. Die Gruppe 17 hat einen etwas niedrigeren und die Gruppen 4, 5, 6 und 7 haben etwas höhere Mittelwerte, extreme Unterschiede gibt es aber nicht. Die Zn-Werte der Gesamtgruppe der Strauße, die die Mehrzahl der Einzelgruppen reflektieren, besitzen eine große Standardabweichung (± 54 mg/kg) und eine große Spannweite (76 - 306 mg/kg), wobei letztere nicht viel größer als der 95%-Referenzbereich (93 - 287 mg/kg) ist. Dies könnte auf einer mit der alimentären Zinkversorgung korrelierten Zn-Anreicherung im Knochen beruhen (siehe 2.1.5).

Fe: Eine große Spanne der Eisen-Werte der Strauße (37 - 393 mg/kg) mit einer großen Standardabweichung (± 46 mg/kg) war zu erwarten (siehe 4.4.3), da bei mit dem Knochenmark veraschten Knochen die Fe-Werte stark vom Erythropoese-Status und der Durchblutung des Knochenmarks, sowie vom Knochenmarkgehalt selbst abhängen. So besteht auch zwischen den Mittelwerten der einzelnen Gruppen eine Streuung, bei der die größten Mittelwerte (Gruppen 1 und 4, fallen auch durch sehr große Maxima auf) etwa das 2,5-fache der kleinsten Mittelwerte (Gruppen 7, 14, 15, 16) betragen (Gesamt- \bar{x} = 94 mg/kg). Die Gesamtgruppe reflektiert daher nur zum Teil die Einzelgruppen. Bei der Betrachtung der Gesamtgruppen-Werte fällt auf, daß das Maximum etwa doppelt so hoch wie das 97,5%-Quantil ist, wohingegen die meisten der anderen Elemente keine so starken Unterschiede dieser beiden Knochenasche-Werte zeigen.

Cu und Mn: Cu und Mn liegen in den untersuchten Straußen-Humeri in vergleichbaren Konzentrationen vor (siehe 4.4.3, Tab. 52 & 53). Die Variation zwischen den einzelnen Gruppen ist beim Cu etwas größer als beim Mn. Beim Cu zeigen die Mittelwerte der Gruppen 7, 8 und 9 etwas niedrige und die der Gruppen 1 und 2 etwas hohe Werte, zudem besitzt Gruppe 1 ein sehr hohes Minimum. Beim Mn fällt nur Gruppe 6 durch einen hohen Mittelwert und ein hohes Maximum auf, wobei die Einzelwerte dieser Gruppe nicht einheitlich erhöht sind, was an dem mit den anderen Gruppen vergleichbaren Minimum zu sehen ist. Für Cu und Mn kann die Gesamtgruppe als repräsentativ für die Einzelgruppen angesehen werden. Bei beiden Elementen ist die hohe Standardabweichung in der Gesamtgruppe durch die hohen Spitzenwerte bedingt. Bei Mn beträgt das Maximum fast das Doppelte des 97,5%-Quantils. Das könnte auf eine hohe Toleranz gegenüber einer längerfristig erhöhten Mn-Aufnahme mit dem Futter hindeuten, die über eine erhöhte Mn-Speicherung bzw. -Akkumulation im Knochen kompensiert wird. Dazu stand jedoch nichts in der Literatur.

Pb: Vergleicht man die Pb-Mittelwerte der einzelnen Gruppen, fallen die Gruppen 6, 10 und 17 durch sehr hohe Mittelwerte auf (siehe 4.4.3). Besonders Gruppe 6 ist durch ihren hohen Mittelwert, der über das 5-fache des Gesamt-Mittelwerts (10,0 mg/kg) beträgt, sowie ihr hohes Minimum und Maximum auffällig und mit keiner anderen Gruppe vergleichbar. Hingegen liegen die Mittelwerte der anderen 17 Gruppen in einem Bereich zwischen dem Mittelwert der Gesamtgruppe und einem Viertel diesen Werts. Die Werte der Gesamtgruppe reflektieren deshalb keinesfalls die verschiedenen Einzelgruppen. Betrachtet man die Gesamtgruppe, so haben die Pb-Konzentrationen in der Knochenasche eine sehr große Spannweite (0,7 - 88,2 mg/kg), der höchste Wert beträt mehr als das 100-fache vom niedrigsten. Die Standardabweichung ist sehr groß ($\pm 15,0$ mg/kg) und übersteigt, als Absolutwert gesehen, den Mittelwert. Dies wird durch die sehr hohen Werte einiger Tiere verursacht, wobei der höchste Wert etwa 50 % über dem 97,5%-Quantil (56,8 mg/kg) liegt, letzteres ist aber wiederum gut fünfmal so hoch wie der Mittelwert. Ursache für die offensichtlich regelmäßig bei Straußen vorkommenden, hohen Pb-Konzentrationen im Knochen ist vermutlich die in der

Literatur beschriebene Ablagerung Pb-haltiger Phosphate in Knochen und Gefieder der Vögel bei längerfristiger Pb-Exposition (GERBIG, 1992; GERBIG 1996; siehe 2.1.13). Eine relativ hohe Toleranzgrenze gegenüber hohen Pb-Gehalten im Futter und im Tierkörper ist anzunehmen, wobei nicht bekannt ist, ob diese hohen Pb-Konzentrationen in manchen Geweben nicht durch antagonistische Wechselwirkungen von Pb mit anderen Elementen negative Effekte haben. Besonders wären hier die Einlagerung von Pb^{2+} statt Ca^{2+} in die Knochen und das kompetitive Besetzen von Ca^{2+} -Bindungsstellen an Enzymen durch Pb^{2+} zu erwähnen (siehe 2.1.13). Dies gilt außer für Ca sicherlich auch für andere, zweiwertige Kationen, wie Mg, Zn, Cu und Mn. Außerdem weisen das weniger als ein Zehntel des Pb-Mittelwerts betragende Minimum und 2,5%-Quantil (0,9 mg/kg) auf einen sehr geringen Pb-Bedarf im Vergleich zur durchschnittlichen Pb-Exposition hin.

Si: Die geplanten Si-Analysen konnten wegen zu erwartender Si-Kontaminationen der Analysenlösungen nicht durchgeführt werden (siehe 3.2.4).

F: Ein Vergleich der Einzelgruppen ist bei den F-Werten nicht sinnvoll, da nur 2-3 Proben je Gruppe analysiert werden konnten. Die F-Werte der Gesamtgruppe (siehe 4.4.3) besitzen, verglichen mit dem Mittelwert (453 mg/kg), eine große Standardabweichung (± 112 mg/kg); Spannweite und 95%-Referenzbereich (290 - 640 mg/kg) sind fast identisch. Man muß beachten, daß nur 48 Proben auf den F-Gehalt untersucht wurden, etwa ein Viertel der für die meisten anderen Elemente untersuchten Proben. Beim Strauß ist für F vermutlich eine hohe Toleranz vorhanden, wobei das Skelett der Hauptspeicher für F im Körper ist (siehe 2.1.17).

Al: Ein Vergleich der Einzelgruppen ist auch bei den Al-Werten nicht sinnvoll, da nur 2 Proben je Gruppe analysiert werden konnten. Die Al-Konzentrationen in den 40 untersuchten Knochenascheproben haben im Vergleich zum Mittelwert eine große Standardabweichung ($\bar{x} \pm s = 11,2 \pm 6,1$ mg/kg; siehe 4.4.3). Das Maximum (22,2 mg/kg) beträgt gut das 20-fache des Minimums (1,0 mg/kg), wobei der Unterschied zwischen Spannweite und 95%-Referenzbereich (1,6 - 20,8 mg/kg)

klein ist. Die relativ große Spannweite deutet darauf hin, daß es beim Strauß eventuell zu einer ähnlichen Al-Akkumulation im Knochen kommt, wie es bei den Wirbeltieren auch für Gehirn und Lunge beschrieben ist (siehe 2.1.18).

Vergleich der Rohaschekonzentrationen der Straußen-Humeri mit Literaturwerten:

Beim Vergleich der in dieser Untersuchung gefundenen Knochenasche-Konzentrationen mit Knochen-Literaturwerten sowie beim Vergleich letzterer untereinander besteht häufiger das Problem, daß nicht klar angegeben ist, auf was sich die verwendete Einheit bezieht. Dies wurde schon beim Serum-P-/PO₄-Gehalt und bei der Literatur zum Rohascheanteil von Knochen angesprochen (siehe 5.3.3 & 2.3.2). Dadurch können einige Literaturwerte gar nicht für einen Vergleich herangezogen werden, was einerseits deren Wert als Referenz- bzw. Vergleichswerte stark vermindert und andererseits die Vergleichsmöglichkeiten generell einschränkt. Dies trifft auch für eine der beiden Autorengruppen (BEZUIDENHOUT et al., 1994) zu, von denen Literaturwerte zu den Element-Konzentrationen im Knochen bzw. der Knochenasche von Straußen existieren. Allerdings behindern zum Teil auch Unterschiede in den Analyseprozessen (z.B. Entfettung der Knochen oder nicht) einen Wertevergleich. So gibt die andere Autorengruppe (SCHEIDELER et al., 1994) ihre Werte bezogen auf die fettfreie Knochentrockenmasse an, die sich nur ungefähr mit den ohne eine Entfettung gewonnenen Knochenasche-Werten dieser Untersuchung vergleichen lassen.

Trotz der gerade genannten Schwierigkeiten beim Wertevergleich kann gesagt werden, daß die Knochenasche-Konzentrationen der Elemente Ca, (Gesamt-)P, Mg, Zn, Fe, Cu und Mn bei den Straußen dieser Untersuchung (siehe 4.4.3) umgerechnet in vergleichbaren Wertebereichen wie die aus der Literatur bekannten Straußen-Knochenwerte liegen. Auch die Literaturwerte von Rhea-Knochen und von der Knochenasche von Hühnern sind mit den ermittelten Straußen-Konzentrationen vergleichbar (siehe 2.2.2.3, 2.2.3.3, 2.2.4.3, 2.2.5.3, 2.2.6.3, 2.2.7.3 und 2.2.8.3). Für den Pb-, den F- und den Al-Gehalt von Straußenknochen existieren noch keine Literaturwerte. Die hier bei den Straußen

gefundenen Pb-, F- und Al-Gehalte in der Knochenasche (siehe 4.4.3) sind jedoch vergleichbar mit Literaturwerten vom Huhn und von Wassergeflügel für Pb und vom Huhn für F in der Knochenasche, sowie mit Knochen-Literaturwerten vom Huhn für Al (siehe 2.2.15.2, 2.2.19.1 und 2.2.20.1).

5.5.4 KALZIUM-PHOSPHOR-VERHÄLTNIS IN DER ROHASCHE DER HUMERI

Das Ca:P-Verhältnis im Knochen liegt im allgemeinen bei etwa 2:1 (= 2,0) bei erwachsenen Tieren, ohne große Unterschiede zwischen verschiedenen Spezies. Bei Jungtieren ist es etwas niedriger (DOYLE, 1979). Angaben über die Einheit der Ca- und P-Konzentrationen fehlen bei diesem Autor. Es ist fraglich, ob es beim Ca:P-Verhältnis überhaupt eine signifikante Bedeutung hat, in welcher Einheit (d.h. ob bezogen auf die Feucht-, Trocken- oder Knochenasche-Masse) die Ca- und P-Werte angegeben sind, vorausgesetzt beide haben die gleiche Einheit. Vermutlich können die Zahlenwerte von Ca:P-Verhältnissen zumindest ungefähr miteinander verglichen werden und die Ca- und P-Werte können sich dabei auf die Feuchtmasse, auf die fettfreie oder nicht fettfreie Trockenmasse oder auf die Knochenasche beziehen. Die unten beschriebenen, leichten Unterschiede zu den aus der Literatur bekannten Werten könnten jedoch auf den gerade genannten, sich teilweise unterscheidenden Einheiten-Bezug der Ca- und P-Konzentrationen des jeweiligen Ca:P-Verhältnisses zurückzuführen sein.

Betrachtet man das Ca:P-Verhältnis für jede einzelne Gruppe und vergleicht man die Mittelwerte der Gruppen miteinander, so bieten diese ein einheitliches Bild (siehe 4.4.4). Die Streuung der Mittelwerte bleibt bis auf zwei Gruppen im Rahmen der Standardabweichung vom Gesamt-Mittelwert ($\bar{x} \pm s = 2,46 \pm 0,19$). Gruppe 1 besitzt einen niedrigeren Mittelwert, wobei das niedrige Minimum und Maximum auf einheitlich niedrige Einzelwerte in der Gruppe verweisen. Gruppe 20 hingegen hat einen höheren Mittelwert, das hohe Minimum und Maximum zeigen wiederum, daß die Einzelwerte dieser Gruppe geschlossen höher liegen. Da selbst die Mittelwerte dieser Gruppen nur wenig unter- bzw. oberhalb der anderen liegen, kann gesagt werden, daß die Gesamtgruppe die Einzelgruppen gut repräsentiert.

Das in dieser Untersuchung für die Gesamtgruppe ermittelte Ca:P-Verhältnis in der Knochenasche liegt mit einem Mittelwert von 2,46 und einer Spannweite von 1,99 - 2,97 etwas über den nachfolgend aufgeführten Literaturdaten. Die Einheiten der anderen Literaturdaten für Ca und P stimmen nicht mit den hier verwendeten überein (wobei das Ca:P-Verhältnis selbst keine Einheit besitzt), außerdem stammten die Tiere bei SCHEIDELER et al. (1994) nicht aus Südafrika und nicht aus einer gesunden Population. Dies können Ursachen für die Unterschiede sein, ebenso könnte es an Unterschieden in der Futterzusammensetzung liegen.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Arbeit sowie der von BEZUIDENHOUT et al. (1994) liegt die Vermutung nahe, daß beim Strauß das Ca:P-Verhältnis in der Knochenasche bzw. im Knochen deutlich über dem nach DOYLE (1979) allgemein gültigen Wert von 2,0 liegt. BEZUIDENHOUT et al. (1994) präsentieren Ca- und P-Werte von acht Straußen, allerdings 4 - 8 Wochen alten Küken (die Einheit ist nicht klar). Hier ergibt sich ein mittleres Ca:P-Verhältnis von 2,4.

SCHEIDELER et al. (1994) bestimmten Ca und P bei insgesamt 40 Straußen von drei Wochen alten Küken bis zu erwachsenen Tieren. Die Einheiten bezogen sich wahrscheinlich auf die fettfreie Knochen-Trockenmasse. Die Ca:P-Verhältnisse der verschiedenen Altersgruppen bewegten sich zwischen 2,0 und 2,1. Das Ca:P-Verhältnis blieb somit bei diesen Straußen vom Küken bis zum Erwachsenen konstant. Bei 18 adulten Rheas, über die SCHEIDELER et al. (1996) berichteten, kann man ein Ca:P-Verhältnis der Mittelwerte von 1,7 ausrechnen (Werte bezogen auf die fettfreie Knochen-Trockenmasse). Dieser Wert liegt deutlich unter allen hier zitierten Werten. Ursache sind wohl die im Vergleich zu Straußen niedrigeren Ca-Knochenwerte. Ob es sich hierbei um einen Speziesunterschied zum Strauß oder um einen Fütterungsfehler handelt, läßt sich anhand der Veröffentlichung nicht klären. Allerdings liegen auch die vorher von DOYLE (1979) zitierten, laut diesem Autor allgemein für verschiedene Spezies gültigen Werte über den Rhea-Werten.

Das Ca:P-Verhältnis im Knochen bzw. in der Knochenasche hat auch Bedeutung bei der Diagnose von Störungen der Skelettzusammensetzung und speziell bei

Beinveränderungen (siehe 2.4). So kann an einer Verschiebung des Ca:P-Verhältnisses im Knochen zu einer der beiden Seiten ein Ungleichgewicht im Ca-P-Metabolismus festgestellt werden, welches unter Umständen an den Ca- und P-Konzentrationen alleine nicht erkannt wird, da beide für sich betrachtet noch im Rahmen der aus der Literatur bekannten Normalwerte liegen können.

Das Ca:P-Verhältnis im Knochen darf nicht mit dem Ca:P-Verhältnis im Futter verwechselt werden, zumal die Werte sich sehr ähneln. Für die meisten Tierarten wird ein Ca:P-Verhältnis im Futter von 1,5-2:1 empfohlen (ANONYM, 1980). Auch für nichtlegende Strauße wird von ANGEL et al. (1996b) ein Ca:P-Verhältnis von 2:1 im Futter empfohlen. Bei dem zur Berechnung verwendeten P-Gehalt im Futter handelt es sich um für Monogastrier und somit auch Strauße verdaulichen P, also Phosphor Phytat-freien Ursprungs.

5.5.5 VERSCHIEDENE FAKTOREN, DIE DIE KONZENTRATIONEN IN DEN KNOCHEN BEEINFLUSSEN KÖNNEN

Auch bei den Knochen-Konzentrationen muß, wie beim Serum, auf den Einfluß des Metabolismus während der Legetätigkeit der Hennen hingewiesen werden. So wird bei Hühnern bzw. Hausgeflügel vor Beginn der Legeperiode medullärer Knochen im Knochenmark bestimmter Knochen gebildet (siehe 2.1.2). Dieser ist die Haupt-Ca-Quelle für die Eischalenbildung, gefolgt von Ca aus der Nahrung (HAZELWOOD, 1972). Im Gegensatz zum Hausgeflügel ist beim Strauß der Femur pneumatisiert und der Humerus nicht (BEZUIDENHOUT et al., 1998; SALOMON, 1993). Inwieweit sich die Größe des sich im Femur zum Teil bis zu den *Condyli femorii* ausdehnenden Luftsackdivertikels im Zuge der möglichen Bildung von medullärem Knochen verändert, ist bisher nicht abschätzbar. Die Bildung von medullärem Knochen in Humerus, Tibiotarsus und anderen, gut durchbluteten Knochen kann auch bei Straußenhennen angenommen werden (siehe 2.1.2). Bei der Ca-Analyse ganzer, markhaltiger Röhrenknochen sind deshalb Unterschiede zwischen legenden bzw. kurz vor dem Legen stehenden Hennen und nichtlegenden Tieren zu erwarten. In geringerem Maße muß damit auch bei anderen Elementen gerechnet werden, wie zum Beispiel P, Mg und Fe.

5.6 Analysen der Vollblutproben

Vollblutproben besitzen gegenüber Serum bzw. Plasma den Vorteil, daß es keine Hämolyse- oder Diffusionsprobleme gibt. Allerdings hängen die Konzentrationen der untersuchten Elemente vom Hämatokrit ab (siehe 5.6.2). Außerdem existieren viel weniger Vergleichsdaten über Mengen- und Spurenelement-Konzentrationen im Vollblut als im Serum, da normalerweise die Serum-Konzentrationen dieser Elemente bestimmt werden. Auf die Bestimmung des Hämatokrits bei den Heparin-Blutproben wurde verzichtet, weil möglicherweise mit einer Verschiebung des Hämatokrits und deshalb mit für gesunde Strauße nicht normalen, physiologischen Hämatokritwerten gerechnet werden mußte. Als eine Ursache dafür käme eine Verschiebung der Flüssigkeitsverhältnisse im Körper und speziell im Blut durch den Streß für die Strauße beim Auftrieb bzw. der Handhabung vor dem Betäuben in Frage. Einen definitiven Einfluß auf den Hämatokrit von Tieren hat die Höhe über dem Meeresspiegel, auf der die Tiere gehalten werden. Das könnte in Südafrika, wo Farmstrauße in einem Bereich von annähernd 0 m ü. M. bis etwa 1500 m ü. M. (Meter über dem Meeresspiegel) gehalten werden, schon einen erheblichen Einfluß haben. Diese Daten noch zusätzlich zu erfassen, wäre organisatorisch nur schwer oder gar nicht möglich gewesen.

5.6.1 ELEMENT-KONZENTRATIONEN IM VOLLBLUT

Ein Vergleich der Einzelgruppen ist bei den im Vollblut untersuchten Elementen (Mg, Fe, Se) nicht sinnvoll, da bei fast allen Gruppen nur 3 Proben je Gruppe analysiert werden konnten und bei einer Gruppengröße, die wesentlich unter 10 Tieren liegt, eine statistische Betrachtung der einzelnen Gruppen zu sehr von der individuellen Variation der Werte von sehr wenigen (hier 3) Tieren abhängt. Die statistische Aussagekraft für die Gesamtgruppe der auf Mg, Fe und Se untersuchten Vollblutproben der Strauße ist aufgrund der kleineren Probenzahl (63 Proben) nicht so groß wie bei Serum, Leber oder Knochen mit 202 Proben. Trotzdem sollten die Vollblutwerte ausreichende und als Referenzwerte geeignete Informationen liefern. Die Probenzahl wurde beim Vollblut einerseits aus

Kostengründen kleiner gewählt. Andererseits wird Vollblut bei Mengen- und Spurenelementbestimmungen bei weitem nicht so häufig verwendet wie Serum, Leber oder Knochen, da es nur für bestimmte Elemente Aussagen zuläßt.

Bei allen drei Elementen (Mg, Fe, Se) ist die Standardabweichung und die Gesamtspanne der Werte vergleichsweise klein (siehe 4.5), speziell bei Mg und Fe, und für alle drei Elemente besonders im Vergleich zu ihren Werten beim Serum. Eine große Variation der Werte aufgrund normaler Hämatokritdifferenzen zwischen den einzelnen Proben liegt hier wider Erwarten also nicht vor. Beim Mg befindet sich das Maximum um einiges über dem 97,5%-Quantil, während beim Fe das Minimum deutlich unter dem 2,5%-Quantil liegt. Beim Se kann, bezogen auf den Mittelwert, eine deutlich höhere Standardabweichung festgestellt werden, als dies bei Mg und Fe der Fall ist. Der höchste Se-Wert liegt deutlich über dem 97,5%-Quantil.

Die einzigen in der Literatur auffindbaren Mg-Vollblutwerte von Straußen stammen von DE VILLIERS (1938; siehe 2.2.4.4) und liegen trotz ihres schon "historischen Charakters" im 95%-Referenzbereich der hier ermittelten Straußenwerte. Weitere Vogel-Literaturwerte waren nicht erhältlich. Zur Fe-Konzentration im Vollblut konnten weder Straußen- noch andere Vogelwerte gefunden werden. Angaben zum Se-Gehalt des Vollbluts fehlen für den Strauß ebenfalls. Die hier erhaltenen Se-Vollblutwerte der Strauße sind mit Literaturwerten vom Huhn (siehe 2.2.9.3) vergleichbar; Maximum, 97,5%-Quantil und selbst noch der Mittelwert dieser Se-Straußenwerte liegen allerdings über den Literaturangaben vom Huhn.

5.6.2 VERSCHIEDENE FAKTOREN, DIE DIE KONZENTRATIONEN IM VOLLBLUT BEEINFLUSSEN KÖNNEN

Ein von Individuum zu Individuum unterschiedlicher Hämatokrit trägt je nach Element zu einer variierenden physiologischen Spanne der Vollblut-Konzentrationen bei. Besonders sind davon Elemente betroffen, die in relativ hoher Konzentration in den Erythrozyten enthalten sind, wie Mg, Fe und Se.

Der Hämatokrit wurde bei den Straußen dieser Untersuchung nicht bestimmt (siehe 5.6). Von einigen Autoren ist der Hämatokrit bei Straußen bestimmt worden (BROWN & JONES, 1996; DE VILLIERS; 1938; GRAY & BROWN, 1995; LEVY et al., 1990; LEVY et al., 1996; OLOWOOKORUN & MAKINDE, 1998; PALOMEQUE et al., 1991; STOSKOPF et al., 1982; VAN DER HEYDEN et al., 1992; YAGIL et al., 1996). Er bewegt sich zwischen 30 % und 61 %. Zwei der Autorengruppen (vermutlich ein und dieselbe Untersuchung) geben sogar einen Mittelwert von 29 % mit einer Standardabweichung von ± 2 % an, was die gerade genannte Spanne noch zusätzlich verbreitert. An der großen Spanne der Hämatokritwerte beim Strauß kann man die dadurch möglicherweise verursachten Schwankungen von Mengen- und Spurenelement-Vollblutwerten der genannten Elemente erahnen. Dies ist überraschenderweise bei den Vollblutwerten dieser Untersuchung nicht der Fall (siehe 5.6.1). Trotzdem wurde auf einen Vergleich der Vollblut- mit den Serumwerten wegen des Hämatokrit-Einflusses auf die Vollblutwerte verzichtet.

5.7 Schlußbetrachtung

Generell korrelieren die in dieser Untersuchung gefundenen Mengen- und Spurenelementkonzentrationen sowie die anderen Daten gut mit den bisher bekannten Literaturwerten. Bei einigen Elementen und Geweben konnte allerdings festgestellt werden, daß bisherige Literaturwerte von Straußen oder auch vom Huhn und zum Teil anderem Geflügel sich nicht ganz mit den hier bei 10 bis 16 Monate alten, südafrikanischen Farmstraußen gefundenen Referenzbereichen decken. Deshalb haben die angegebenen 95%-Referenzbereiche (nochmals in der Übersichtstabelle der Zusammenfassung dargestellt) für Strauße vergleichbaren Ursprungs und Alters als Vergleichswerte für zukünftige Untersuchungen eine enorme Bedeutung. Außerdem liegen, verglichen mit anderen Nutztierspezies, zu den untersuchten Elementkonzentrationen in den untersuchten Geweben bzw. Körperflüssigkeiten meist wenig bis sehr wenig und in einigen Fällen bisher gar keine Werte von Straußen oder anderen Ratiten vor, wodurch die hier ermittelten Werte die Literatur auf einem breiten Gebiet

ergänzen, was nochmals ihre besondere wissenschaftliche Bedeutung unterstreicht. Sie sollten deshalb - für sich gesehen oder in Kombination mit der vorhandenen Literatur - als Referenzwerte für zukünftige Untersuchungen verwendet werden. Als Grundlage für die als Referenzwerte empfohlenen 95%-Referenzbereiche der einzelnen Elemente in den untersuchten Geweben wurde die Gesamtgruppe der 202 untersuchten Strauße gewählt, da das Ziel die Erstellung von Referenzwerten für südafrikanische Farmstrauße war. Die Auswahl der 20 Gruppen und der Einzeltiere wurde zufällig getroffen, wodurch diese Werte repräsentativ für südafrikanische Farmstrauße im Alter zwischen 10 und 16 Monaten sind. Etwaige Besonderheiten einzelner Gruppen oder Tiere sind für die Gesamtgruppe nur von untergeordneter Bedeutung.

Auf den Vergleich von Serum-, Leber-, Knochen- und Vollblutwerten miteinander wurde verzichtet (bis auf wenige, auffällige Besonderheiten), da ein so spezifischer Vergleich ohne Kenntnis der genauen Futterzusammensetzung und -menge (inklusive des Trinkwassers), von Management, Aufzucht- und Haltungsbedingungen und vielen anderen Faktoren kaum auswertbar und nicht aussagekräftig ist. Derartige Details waren beim großen Umfang und der räumlich weitverteilten Probensammlung dieser Untersuchung nicht erfaßbar. So könnten schon Ungenauigkeiten, fehlende Angaben oder Irrtümer bei diesen Detailangaben zu Fehlschlüssen in einem Gewebe-übergreifenden Vergleich führen. Ein Beispiel hierfür wäre der unterschiedliche Zeitraum zwischen letzter Fütterung und Schlachtung, der veränderte (niedrigere) Serumkonzentrationen mancher Elemente zur Folge haben kann. Oder eine unterschiedliche bzw. nochmals geänderte Finisher-Ration der Strauße in den letzten Wochen vor der Schlachtung, was zu verschieden stark veränderten Element-Konzentrationen in den Geweben und Körperflüssigkeiten führen kann. Trotz der Werteschwankungen in diesen beiden Fällen sollten diese Werte auch zu den Normalwerten gerechnet werden, da anzunehmen ist, daß sie regelmäßig unter normalen Farmbedingungen vorkommen. Der möglichst gleichmäßig über Südafrika verteilte und zufällige Probenursprung war für die Erstellung von Basis-Referenzwerten wichtiger als die infolgedessen fehlenden Details. Auch ein

über den in 5.3 bis 5.6 durchgeführten Gruppen-Vergleich hinausgehender, detaillierterer und statistischer Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Schlachtstraßen-Gruppen (siehe 4.2 bis 4.5) miteinander erscheint nicht sinnvoll, da hier ebenfalls die benötigten, gerade genannten Details fehlen.

Zusammenfassend kann für alle untersuchten Elemente gesagt werden, daß die hier präsentierten Referenzwerte eine wissenschaftlich fundierte Basis für die Diagnostik und die Forschung darstellen und daß aus diesen Referenzbereichen herausfallende Werte von südafrikanischen Farmstraßen vergleichbaren Alters auf ein Ungleichgewicht der essentiell benötigten Elemente im Gewebe hindeuten. Dabei liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit eine teilweise schon pathologische Veränderung der biochemischen Verhältnisse vor. Insbesondere gilt dies für eine veränderte Knochenzusammensetzung, die sowohl klinisch unauffällig, als auch sichtbar sein kann, unter anderem mit den unter 2.4 bei den verschiedenen Erkrankungen besprochenen Symptomen.

Die Erhebung von mit dieser Untersuchung vergleichbaren Daten gesunder und an Beinveränderungen leidender Straußenküken über den gesamten Zeitraum ihres Wachstums, sowie eine anatomisch-physiologische und histopathologische Betrachtung der Beinknochen, sollten die nächsten Schritte bei dem Versuch sein, die Häufigkeit von Beinproblemen bei Straußen zu reduzieren. Diese sind sicherlich zumindest teilweise ernährungsbedingt. Außerdem sollten alle möglicherweise beteiligten Faktoren überprüft werden, wie Futter (Zusammensetzung inklusive Mengen- und Spurenelementgehalte, Menge, Konsistenz, Lagerbedingungen, Verderblichkeit, Pilz- und Bakteriengehalt, Fütterungsintervalle), Trinkwasser (Mengen- und Spurenelementgehalte, Schadstoffe wie Nitrite und Nitrate, pH-Wert, Temperatur), Stallbau (Wassertröge, Bodenoberfläche sowie feuchte, rutschige oder verschmutzte Böden, Hindernisse, Sonnenlichtzugang, Luftqualität und Belüftungsverhältnisse), Streß, Management und Probleme beim Schlupf (Eischalendicke, Bruchfestigkeit bzw. Bruchwiderstand der Schale beim Schlupf). Am besten wäre dies mit detaillierten und

intensiven Untersuchungen auf einigen Farmen möglich, wobei dabei beachtet werden muß, daß die Ergebnisse nicht einfach verallgemeinert werden können, sondern für jeden neuen Fall und jede Farm wieder neu adaptiert werden müssen.

Es ist zu empfehlen, vorerst eine breitgefächerte Zusammentragung von Elementkonzentrationen weiterzubetreiben, die mit Hilfe der hier veröffentlichten Referenzwerte beurteilt werden können. Diese muß kombiniert sein mit einer möglichst viele Bereiche umfassenden Diagnostik und weitergeführt werden, bis mit einer größeren zur Verfügung stehenden Datenmenge klare Mechanismen und Zusammenhänge als Krankheitsursachen erkennbar sind. Dann erst kann die Diagnostik auf spezifische Testkombinationen reduziert werden, wie beispielsweise die Konzentrationsbestimmung weniger Elemente in bestimmten Geweben bzw. Körperflüssigkeiten zusammen mit einer Futteranalyse und der Knochen-Histopathologie. Außerdem sollte die detaillierte Erfassung der Haltungsbedingungen und etwaiger Besonderheiten ein fester Bestandteil der Anamnese sein.

Aufgrund der ständigen und damit langfristig gesehen hohen Verluste infolge der bekannten Beinprobleme bei Straußenküken und Jungtieren ist es zwingend erforderlich, hier weitere Forschung zu betreiben. Gerade die in dieser Untersuchung ermittelten Daten sind dafür als Grundlage und als Referenzwerte von elementarer Bedeutung und von hohem wissenschaftlichem Wert. Für weitere Forschung notwendige Investitionen von Zeit und Geld werden sich mittel- und langfristig durch eine höhere Produktivität aufgrund geringerer Verluste auszahlen. Die Einstellung der Forschung auf diesem Gebiet, zusammen mit der durch den Markt-Wettbewerb mit anderen Nutztierspezies unerläßlichen Intensivierung in der Straußenindustrie, würde zu steigenden Verlusten bei der Straußenaufzucht führen. Dies könnte letztendlich die Unrentabilität und den endgültigen Zusammenbruch der Straußenindustrie als Einkommensquelle eines in einigen Ländern nicht unbedeutenden Landwirtschaftszweigs zur Folge haben.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Quantitativer Nachweis wichtiger Mengen- und Spurenelemente in Serum, Leber, Knochen und Vollblut sowie einige andere Gewebeparameter und Daten von gesunden, südafrikanischen Farmstraußen (*Struthio camelus var. domesticus*) im Schlachtalter

Die vorliegenden Untersuchungen fanden an 202 südafrikanischen Farmstraußen (*Struthio camelus var. domesticus*) statt, die von 20 über die Republik Südafrika verteilten Farmen stammten. Die Proben für die geplanten Serum-, Leber-, Knochen- und Vollblutanalysen wurden bei der Schlachtung der 10 - 16 Monate alten Tiere genommen, um die Konzentrationen der folgenden Elemente zu bestimmen:

- im Serum: Ca, anorg. PO₄, Gesamt-P, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn, Se, Cr, Co, Na, K, Cl
- in der Leber: Ca, Gesamt-P, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn, Se, Cr, Co, Pb, As, Cd
- im Knochen: Ca, Gesamt-P, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn, Pb, Si, F, Al
- im Vollblut: Mg, Fe, Se

Serum, Vollblut und Knochen wurden tiefgefroren (<-14°C) und die Leberproben in ungepuffertem (PO₄-freiem) Formalin gelagert. Zur Analyse wurden Serum, Vollblut und Leber chemisch aufgeschlossen (Leber nach Trocknung). Die Knochen wurden getrocknet, verascht und dann in Säurelösung gelöst. Die verdünnten Lösungen wurden, abhängig von Element und Konzentration, mit Hilfe von Atomabsorptions- oder Atomemissionsspektrophotometrie, Induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrophotometrie (ICP-MS), Photometrie oder Ionometrie analysiert.

Von den Ergebnissen der 20 Einzelgruppen sowie der Gesamtgruppe (202 Tiere) wurden der arithmetische Mittelwert mit Standardabweichung, die Spannweite (Minimum-Maximum) und der 95%-Referenzbereich (begrenzt durch das 2,5%- und das 97,5%-Quantil) berechnet. Der 95%-Referenzbereich soll für den Vergleich mit Literaturwerten und zukünftigen Untersuchungen verwendet werden.

Die 95%-Referenzbereiche der oben aufgeführten Elemente sind in der Übersichts-Tabelle am Ende präsentiert. Außerdem wurden folgende weitere Daten ermittelt, deren jeweiliger 95%-Referenzbereich (RefB = 2,5%- und 97,5%-Quantil) ebenfalls hier angegeben ist:

- Die Serum-Dichte: RefB = 1,004 - 1,169 g/cm³ (= g/ml)
- Der Feuchtigkeitsgehalt der Formalin-gelagerten Leberproben (% Feuchtigkeit):
RefB = 65,4 - 75,1 %
- Der Trockenmassegehalt der Knochen (Humerus; % Trockenmasse im frischen, nicht fettfreien Knochen): RefB = 70,7 - 86,4 %
- Der Rohaschegehalt der Knochen (Humerus; % Rohasche im trockenen, nicht fettfreien Knochen): RefB = 38,9 - 50,5 %
- Das Ca:P-Verhältnis in der Knochenasche: RefB = 2,08 - 2,83

In einem zusätzlichen Versuch wurde bei 53 Leberproben von Straußen einerseits der Feuchtigkeitsgehalt der Frischproben und andererseits der Feuchtigkeitsgehalt nach Formalin-Lagerung (18 Tage) bestimmt. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den frischen und den Formalin-gelagerten Leberproben gefunden. Somit sind auf der Basis der Frisch- oder Feuchtmasse ausgedrückte Elementkonzentrationen von Leberproben bei Straußen direkt vergleichbar.

Die in dieser Untersuchung gefundenen Mengen- und Spurenelement-Konzentrationen sowie die anderen Daten korrelieren gut mit den bisher bekannten Literaturwerten und stellen vor allem eine wertvolle Ergänzung dieser dar, da bei vielen der untersuchten Elemente bisher nur sehr wenige oder gar keine Literaturwerte von Straußen existierten. Sie sind deshalb als Referenzwerte für zukünftige Untersuchungen von hohem wissenschaftlichem Wert. Die Erhebung ähnlicher Daten von gesunden und an Beinveränderungen leidenden Straußenküken über den gesamten Zeitraum ihres Wachstums, sowie eine anatomisch-physiologische und histopathologische Betrachtung der Beinknochen, sollten die nächsten Schritte bei dem Versuch sein, die Häufigkeit von Beinproblemen bei Straußen zu reduzieren, die sicherlich zumindest teilweise ernährungsbedingt sind.

Die 95%-Referenzbereiche der bei den 202 Straußen gefundenen Mengen- und Spurenelement-Konzentrationen:

Element	Serum	Leber	Knochenasche	Vollblut
Einheit	mg/dl	mg/kg TM	% der Kn.a.	mg/kg
Ca	10,7 - 22,6	75 - 1231	36,3 - 45,7	--
inPO₄	10,0 - 22,6	--	--	--
Gesamt-P	9,8 - 22,4	4416 - 10093	15,2 - 18,4	--
Mg	3,25 - 6,80	239 - 536	0,35 - 0,64	73,2 - 107,1
Einheit	mg/dl	mg/kg TM	mg/kg der Kn.a.	mg/kg
Zn	0,020 - 0,441	45 - 340	93 - 287	--
Fe	0,072 - 1,602	350 - 4396	42 - 195	211 - 337
Cu	0,018 - 0,166	7,5 - 23,8	3,3 - 14,9	--
Mn	0,003 - 0,028	1,43 - 10,19	4,6 - 13,0	--
Se	0,008 - 0,079	1,61 - 7,90	--	0,156 - 0,742
Cr	0,011 - 0,030	0,36 - 7,54	--	--
Co	0,002 - 0,041	0,31 - 2,40	--	--
Pb	--	< 0,01 - 5,35	0,9 - 56,8	--
As	--	0,14 - 1,12	--	--
Cd	--	0,04 - 1,18	--	--
F	--	--	290 - 640	--
Si	--	--	⊗	--
Al	--	--	1,6 - 20,8	--
Einheit	mmol/l			
Na	140 - 197	--	--	--
K	1,9 - 7,7	--	--	--
Cl	104 - 155	--	--	--
Abkürzungen: inPO ₄ = anorganisches Phosphat; TM = Trockenmasse; Kn.a. = Knochenasche; -- = wurde nicht untersucht; ⊗ = wurde wegen Kontamination nicht bestimmt				

7. SUMMARY

Mineral and trace element concentrations in serum, liver, bone and whole blood from healthy South African farm ostriches (*Struthio camelus var. domesticus*) at slaughter age, and some other tissue parameters and data

The described investigation was done in 202 South African farm ostriches (*Struthio camelus var. domesticus*) originating from 20 farms spread over the Republic of South Africa. Samples were taken from 10 - 16-month old birds at slaughter to determine the following element concentrations:

- in serum: Ca, inorganic PO₄, total P, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn, Se, Cr, Co, Na, K, Cl
- in the liver: Ca, total P, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn, Se, Cr, Co, Pb, As, Cd
- in bone: Ca, total P, Mg, Zn, Fe, Cu, Mn, Pb, Si, F, Al
- in whole blood: Mg, Fe, Se

Serum, whole blood and bones were deep-frozen (<-14°C), the liver samples were stored in unbuffered (PO₄-free) formalin. For analyses serum, whole blood and liver were broken down chemically (livers after drying). The bones were dried, ashed and then dissolved in acid solution. The diluted solutions were analyzed using atomic absorption or emission spectrophotometry, inductively coupled plasma mass spectrophotometry, photometry or ionometry, depending on element and concentration.

Arithmetic mean, standard deviation, total range and 95%-reference interval (based on the 2,5%- and the 97,5%-percentile) were calculated from the results. This was done separately for the 20 groups of ostriches as well as for the whole group of 202 ostriches. For comparison with literature data and future investigations the 95%-reference interval should be used. The 95%-reference intervals of the above listed elements are presented in the table at the end of this summary.

Furthermore the following other data were recorded, presented are their 95%-reference intervals (ref.int. = 2,5%- and 97,5%-percentile):

- Serum-density: ref.int. = 1,004 - 1,169 g/cm³ (g/ml)
- Moisture percentage of the formalin-stored liver samples (% moisture):
ref.int. = 65,4 - 75,1 %
- Dry mass percentage of the bones (humerus; % dry mass in fresh, not fat-free bone):
ref.int. = 70,7 - 86,4 %
- Bone ash percentage (humerus; % bone ash in dry, not fat-free bone):
ref.int. = 38,9 - 50,5 %
- Ca:P-ratio in the bone ash (humerus): ref.int. = 2,08 - 2,83

In an additional investigation 53 liver samples from ostriches were analyzed for the following two characteristics: on the one hand the moisture percentage of the fresh samples and on the other hand the moisture percentage after formalin-storage of the samples (18 days). No significant differences were found between the fresh and the formalin-stored liver samples. Element concentrations based on the wet mass of fresh or formalin-stored liver samples are therefore directly comparable.

The macro- and microelement concentrations and the other data found in this investigation correlate well with the literature data known so far. They represent a valuable completion and addition of the literature data up to now, as for many of the investigated elements there were only few or no data from ostriches existing so far. Consequently these reference values are of high scientific value for future investigations. A survey of similar data covering the whole period of growth from healthy ostrich chicks and from ostrich chicks suffering from leg deformities should be the next step in an attempt to reduce the incidence of leg problems in ostriches. An anatomical-physiological and histopathological study of the leg bones should also be included. Certainly the leg problems in ostriches are at least partly of nutritional origin.

The 95%-reference intervals of the macro- and microelement concentrations found in the 202 ostriches:

Element	Serum	Liver	Bone ash	Whole blood
unit	mg/dl	mg/kg dm	% of the bone ash	mg/kg
Ca	10,7 - 22,6	75 - 1231	36,3 - 45,7	--
inPO₄	10,0 - 22,6	--	--	--
total P	9,8 - 22,4	4416 - 10093	15,2 - 18,4	--
Mg	3,25 - 6,80	239 - 536	0,35 - 0,64	73,2 - 107,1
unit	mg/dl	mg/kg dm	mg/kg bone ash	mg/kg
Zn	0,020 - 0,441	45 - 340	93 - 287	--
Fe	0,072 - 1,602	350 - 4396	42 - 195	211 - 337
Cu	0,018 - 0,166	7,5 - 23,8	3,3 - 14,9	--
Mn	0,003 - 0,028	1,43 - 10,19	4,6 - 13,0	--
Se	0,008 - 0,079	1,61 - 7,90	--	0,156 - 0,742
Cr	0,011 - 0,030	0,36 - 7,54	--	--
Co	0,002 - 0,041	0,31 - 2,40	--	--
Pb	--	< 0,01 - 5,35	0,9 - 56,8	--
As	--	0,14 - 1,12	--	--
Cd	--	0,04 - 1,18	--	--
F	--	--	290 - 640	--
Si	--	--	⊗	--
Al	--	--	1,6 - 20,8	--
unit	mmol/l			
Na	140 - 197	--	--	--
K	1,9 - 7,7	--	--	--
Cl	104 - 155	--	--	--
Abbreviations: inPO ₄ = inorganic phosphate; dm = dry mass; -- = was not investigated; ⊗ = was not measured due to contamination				

8. LITERATURVERZEICHNIS

- Abdy, M.J., Howerth, E.W. & Morrison, T.B. (1995):
Zinc levels in ratites in the Southeastern United States.
Proceedings joint conference: American Association of Zoo Veterinarians, Wildlife Disease Association, American Association of Wildlife Veterinarians. Junge, R.E. (ed.), 12th - 17th August 1995, East Lansing, Michigan, USA, 485-487.
- Acocks, J.P.H. (1988):
Veld types of South Africa. Memoirs of the botanical survey of South Africa No. 57, Botanical Research Institute, Department of Agriculture and Water Supply, Republic of South Africa.
- Alfrey, A.C. (1986):
Aluminium. In: Trace elements in human and animal nutrition.
Volume 2, 5th edition, Mertz, W. (ed.), Academic Press, Inc., Orlando, Florida, USA, pp. 399-413.
- Andreasen, J.R., Andreasen, C.B., Sonn, A.B. & Robeson, D.C. (1996):
The effects of haemolysis on serum chemistry measurements in poultry.
Avian Pathology **25**, 519-536.
- Angel, C.R. (1996):
Serum chemistries and vitamin D metabolites in ostriches, emus, rheas and cassowaries. In: Improving our understanding of ratites in a farming environment. Proceedings, International Conference, Dalton-Ellis Hall, University of Manchester, England, 27th - 29th March 1996, Deeming, D.C. (ed.), Ratite Conference, Banbury, Oxon, UK, 122-124.
- Angel, C.R., Eldridge, L.F. & Bermudez, A.J. (1996a):
Serum chemistries and vitamin D metabolites in rheas affected with metabolic bone disease. In: Improving our understanding of ratites in a farming environment. Proceedings, International Conference, Dalton-Ellis Hall, University of Manchester, England, 27th - 29th March 1996, Deeming, D.C. (ed.), Ratite Conference, Banbury, Oxon, UK, 33-35.
- Angel, C.R., Scheideler, S.E. & Sell J.L. (1996b):
Ratite nutrition. In: Ratite management, medicine and surgery. 1st edition, Tully, T.N. & Shane, S.M. (eds.), Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, USA, pp. 11-30.
- Angel, C.R., Eldridge, L.F. & Bermudez, A.J. (1995):
Serum vitamin D metabolites and chemistries from healthy rheas and rheas with "Rubber Rhea Syndrome". Association of Avian Veterinarians, Main Conference Proceedings, annual conference and expo, 28th August - 2nd September 1995, AAV Publications Office, Orlando, Florida, USA, 227-231.

Anonym (1977):

The SI (Système internationale d'unités) for the health professions.
World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Anonym (1980):

Mineral tolerance of domestic animals.
National Research Council, Subcommittee on mineral toxicity in animals.
National Academy of Sciences, Washington, D.C., USA.

Anonym (1982)

The SI (Système internationale d'unités) manual in health care.
2nd edition, Metric Commission, Ottawa, Canada.

Anonym (1990a):

Bleigehalte in und auf Lebensmitteln.
Hefte der Zentralen Erfassungs- und Bewertungsstelle für
Umweltchemikalien (ZEBS). Bundesgesundheitsamt Berlin, ZEBS-Heft
2/1990.

Anonym (1990b):

Phosphorus (total) in fertilizers: Preparation of sample solution. Method
957.02, B. (a) Materials containing small quantities of organic matter. In:
Official Methods of Analysis, 15th edition, Helrich, K. (ed.), Association of
Official Analytical Chemists (AOAC), p. 12.

Anonym (1990c):

U.S. declared value of exotic skin imports, 1986-1989.
U.S. Fish and Wildlife Service, computerized import/export data.

Anonym (1990d):

Phosphorus (total) in fertilizers: Spectrophotometric
molybdovanadophosphate method. Method 958.01. In: Official Methods of
Analysis, 15th edition, Helrich, K. (ed.), Association of Official Analytical
Chemists (AOAC), pp. 12-13.

Anonym (1995):

Dis nie net die vere wat die voël maak nie.
Meat/Vleis **1** (3), February 1995, 4-5.

Anonym (1996):

Mean annual rainfall and rainfall seasons. Karte.
Institute for Soil, Climate and Water, Agricultural Research Council, Private
Bag X79, 0001 Pretoria, Republic of South Africa.

Anonym (1997/98):

Monthly market review - Oct 1997.
SA Ostrich **2** (6), 12-13.

Anonym (nicht datiert,a):

Certificate of analysis. Standard Reference Material® 1400. Bone ash. National Institute of Standards and Technology (NIST), Standard Reference Materials® Program, Gaithersburg, MD 20899, USA.

Anonym (nicht datiert,b):

Certificate of analysis. Standard Reference Material® 1577b. Bovine liver. National Institute of Standards and Technology (NIST), Standard Reference Materials® Program, Gaithersburg, MD 20899, USA.

Anonym (nicht datiert,c):

Certificate of analysis. Standard Reference Material® 1598. Inorganic constituents in bovine serum. National Institute of Standards and Technology (NIST), Standard Reference Materials® Program, Gaithersburg, MD 20899, USA.

Antanasopoulos, N. (nicht datiert,a):

Flame methods manual for atomic absorption. GBC Scientific Equipment Pty Ltd, Dandenong, Victoria, Australia.

Antanasopoulos, N. (nicht datiert,b):

Flame methods manual for atomic absorption. 5.1.3 Method of standard additions. GBC Scientific Equipment Pty Ltd, Dandenong, Victoria, Australia.

Atteh, J.O. & Leeson, S. (1984):

Effects of dietary saturated or unsaturated fatty acids and calcium levels on performance and mineral metabolism of broiler chicks. Poultry Science **63**, 2252-2260.

Austic, R.E. & Scott, M.L. (1991):

Nutritional diseases. In: Diseases of poultry. 9th edition, Calnek, B.W. et al. (eds.), Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA, pp. 45-71.

Baldini, J.T. & Zarrow, M.X. (1952):

Estrogen and serum calcium levels in Bobwhite Quail. Poultry Science **31**, 800-804.

Beighle, D.E., Boyazoglu, P.A. & Hemken, R.W. (1993):

Use of bovine rib bone in serial sampling for mineral analysis. Journal of Dairy Science **76**, 1047-1052.

Beighle, D.E., Boyazoglu, P.A., Hemken, R.W. & Serumaga-Zake, P.A. (1994):

Determination of calcium, phosphorus, and magnesium values in rib bones from clinically normal cattle. American Journal of Veterinary Research **55**, 85-89.

- Bertsch, P.M., Alley, M.M. & Ellmore, T.L. (1981):
Automated aluminium analysis with the aluminon method.
Journal of the Soil Science Society of America **45**, 666-667.
- Bessinger, F. & Bosch, T.F. (1985):
Ameliorants: Agricultural lime and gypsum. In: *Methods of analysis for fertilisers, ameliorants and farm feeds*. Published by Department of Agriculture for SIRI (Soil and Irrigation Research Institute), Private Bag X79, Pretoria 0001, South Africa. SIRI Information Bulletin No. D-2, 7-9.
- Bezuidenhout, A. & Burger, W.P. (1993):
The incidence of tibiotarsal rotation in the ostrich (*Struthio camelus*).
Journal of the South African Veterinary Association **64**, 159-161.
- Bezuidenhout, A.J., Burger, W.P., Reyers, F. & Soley, J.T. (1994):
Serum- and bone-mineral status of ostriches with tibiotarsal rotation.
Onderstepoort Journal of Veterinary Research **61**, 203-206.
- Bezuidenhout, A.J., Putter, G., Groenewald, H.B. & Soley, J.T. (1998):
The anatomy of the air sacs of the ostrich. In: *Ratites in a competitive world. Proceedings of the 2nd International Ratite Congress*, Oudtshoorn, South Africa, 21st - 25th September 1998, Huchzermeyer, F.W. et al. (eds.), De Jongh's Printers, Strand, South Africa, 94-95.
- Botha, C.J., Naudé, T.W., Minnaar, P.P., van Amstel, S.R. & van Rensburg, S.D.J. (1993):
Two outbreaks of fluorosis in cattle and sheep.
Journal of the South African Veterinary Association **64**, 165-168.
- Brown, C.R. & Jones, G.E. (1996):
Some blood chemical, electrolyte and mineral values from young ostriches.
Journal of the South African Veterinary Association **67**, 111-114.
- Bruning, D.F. & Dolensek, E.P. (1986):
Ratites (Struthioniformes, Casuariiformes, Rheiformes, Tinamiformes, and Apterygiformes). In: *Zoo and wild animal medicine*. 2nd edition, Fowler, M.E. (ed.), W. B. Saunders Company, Philadelphia, London, Toronto, pp. 277-291.
- Burger, W.P. (1994):
Farming with ostriches: management and disease.
World Small Animal Veterinary Association, Proceedings 19th World Congress, Durban, South Africa, 26th - 28th October 1994, Verstraete, F.J.M. (ed.), 19th World Congress, World Small Animal Veterinary Association, Johannesburg, South Africa, 663-667.

- Carpenè, E., Serra, R. & Isani, G. (1995):
Heavy metals in some species of waterfowl of northern Italy.
Journal of Wildlife Diseases **31**, 49-56.
- Cassidy, J. & Eva, J.K. (1958):
The variations in the concentrations of copper and iron within and between
the lobes of pig's liver. *Proceedings of the Nutrition Society* **17**, p. xxx.
- Chapman, H.L., Cox, D.H., Haines, C.E. & Davis, G.K. (1963):
Evaluation of the liver biopsy technique for mineral nutrition studies with
beef cattle. *Journal of Animal Science* **22**, 733-737.
- Chasko, G.G., Hoehn, T.R. & Howell-Heller, P. (1984):
Toxicity of lead shot to wild black ducks and mallards fed natural foods.
Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology **32**, 417-428.
- Cooper, J.E. & Gimbi, A.A. (1994b):
Locomotor disease in captive young ostriches.
The Veterinary Record **134**, 336.
- Cooper, J.E. & Gimbi, A.A. (1994a):
Locomotor disease in captive young ostriches in Tanzania.
Ostrich News **3** (2), 7-8 & 17.
- Costa, N.D., McDonald, D.E. & Swan, R.A. (1993):
Age-related changes in plasma biochemical values of farmed emus
(*Dromaius novaehollandiae*).
Australian Veterinary Journal **70**, 341-344.
- Curro, T.G., Langenberg, J. & Paul-Murphy, J. (1992):
A review of lameness in long-legged birds.
Association of Avian Veterinarians, Proceedings of the 1992 Annual
Conference, New Orleans, Louisiana, USA, 1st - 5th September 1992,
AAV Education Office, Lake Worth, Florida, USA, 265-270.
- De Villiers, O.T. (1938):
The blood of the ostrich.
Onderstepoort Journal of Veterinary Science and Animal Industry **11**,
419-504.
- Deeming, D.C., Dick, A.C.K. & Ayres, L.L. (1996):
Ostrich chick rearing - a stockman's guide.
Ratite Conference, Hangland Farm Ostriches Ltd., Banbury, UK, pp. 91-93.
- Del Bono, G. & Braca, G. (1973):
Lead poisoning in domestic and wild ducks.
Avian Pathology **2**, 195-209.

- Dick, A.C.K. & Deeming, D.C. (1996):
Veterinary problems encountered on ostrich farms in Great Britain.
In: Improving our understanding of ratites in a farming environment.
Proceedings, International Conference, Dalton-Ellis Hall, University of
Manchester, England, 27th - 29th March 1996, Deeming, D.C. (ed.), Ratite
Conference, Banbury, Oxon, UK, 40-41.
- Dolensek, E. & Bruning, D. (1978):
Ratites. In: Zoo and wild animal medicine.
Editor-in-chief E. Forster, W.B. Saunders Company, Philadelphia, London,
Toronto, pp. 167-175.
- Doyle, J.J. (1979):
Toxic and essential elements in bone - a review.
Journal of Animal Science **49**, 482-497.
- Duerden, J.E. (1909):
Experiments with ostriches. XI. Acclimatization - Herr Carl Hagenbeck's
ostrich farm at Stellingen, near Hamburg, Germany.
Agricultural Journal of the Cape of Good Hope **35**, 599-603.
- Edwards, W.C., Gregory, D.G. & Vanhooser, S.L. (1992):
Heavy metal poisoning in ostriches from proventricular foreign bodies.
Veterinary and Human Toxicology **34**, 254-255.
- Egan, A.R. (1976):
Metabolism of Vitamins and Minerals. In: Veterinary Physiology. 1st edition,
Phillis, J.W. (ed.), Wright-Scientific, Bristol, UK, pp. 630-656.
- Field, R.A., Riley, M.L., Mello, F.C., Corbridge, M.H. & Kotula, A.W. (1974):
Bone composition in cattle, pigs, sheep and poultry.
Journal of Animal Science **39**, 493-499.
- Foggin, C.M. (1992):
Pathology of common diseases of ostriches.
South African Veterinary Association, Proceedings of the Biennial National
Congress, South Africa, 149-153.
- Frank, R.K. & Carpenter J.W. (1992):
Coronaviral enteritis in an ostrich (*Struthio camelus*) chick.
Journal of Zoo and Wildlife Medicine **23**, 103-107.
- Frimmer, M. (1986):
Pharmakologie und Toxikologie.
Verlag F. K. Schattauer, Stuttgart, New York.

Fudge, A. (1995):

Ratite reference ranges. California Avian Laboratory, Citrus Heights, California, USA. Cited from: Fudge, A.M. (1996): Clinical hematology and chemistry of ratites. In: Ratite management, medicine and surgery. 1st edition, Tully, T.N. & Shane, S.M. (eds.), Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, USA, pp. 105-114.

Gerbig, R. (1992):

Untersuchungen zur Bleibelastung freilebender Stockenten, *Anas platyrhynchos* Linné, 1758, in der Bundesrepublik Deutschland.
Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades beim Fachbereich Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen.

Gerbig, C. (1996):

Untersuchungen zur Eignung der Feststoff-Zeeman-Atomabsorptions-Spektrometrie im Vergleich mit der Atomabsorptions-Spektrometrie mit Untergrundkompensation durch Deuterium-Kontinuumstrahler für die Bestimmung von Blei in Leber, Nieren, Muskulatur und Knochen der Stockente (*Anas platyrhynchos* Linné, 1758).
Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades beim Fachbereich Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen.

Gilsleider, E. (1994):

Ratite orthopedics. Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine **3** (2), 81-91.

Gray, D.A., Naudé, R.J. & Erasmus, T. (1988):

Plasma arginine vasotocin and angiotensin II in the water deprived ostrich (*Struthio camelus*).
Comparative Biochemistry and Physiology **89A**, 251-256.

Gray, D.A. & Brown, C.R. (1995):

Saline-infusion-induced increases in plasma osmolality do not stimulate nasal gland secretion in the ostrich (*Struthio camelus*).
Physiological Zoology **68**, 164-175.

Gröne, A., Swayne, D.E. & Nagode, L.A. (1995):

Hypophosphatemic rickets in rheas (*Rhea americana*).
Veterinary Pathology **32**, 324-327.

Guittin, P. (1986):

Bow Leg Syndrome in Ratite birds.
Aviculture Magazine **92**, 70-79.

Gylstorff, I. & Grimm, F. (1987):

Vogelkrankheiten.
UTB für Wissenschaft, Große Reihe, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

- Haj-Hussein, A.T. & Christian, G.D. (1986):
Multicomponent flow injection analysis using spectrophotometric detection with reagent spectral overlap: Application to determination of calcium and magnesium in blood serum using Eriochrome Black T.
Microchemical Journal **34**, 67-75.
- Harrison, I., Littlejohn, D. & Fell, G.S. (1996):
Improved molecular fluorescence method for the determination of selenium in biological samples. *The Analyst* **121**, 1641-1646.
- Havlin, J.L. & Soltanpour, P.N. (1980):
A nitric acid plant tissue digest method for use with inductively coupled plasma spectrometry.
Communications in Soil Science and Plant Analysis **11**, 969-980.
- Hazelwood, R.L. (1972):
The intermediary metabolism of birds. In: *Avian Biology*, vol. II, Farner, D.S. & King, J.R. (eds.), Academic Press, New York, USA, pp. 472-526.
- Henderickx, H. & van der Heyde, H. (1961):
De verdeling van het koper in de lever van runderen.
Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift **30**, 238-240.
- Henry, R.J., Cannon, D.C. & Winkelman, J.W. (1974):
Clinical Chemistry: Principles and Techniques.
2nd edition, Harper and Row, pp. 723-727.
- Hodges, D. (1991):
The case of the lazy ostrich: ostrich myositis syndrome.
The Ostrich Report, Spring 1991, 25-29.
- Hopkins, B. (1993):
Orthopedic pathology in ratites. Presented at the Ratite Research Conference, College of Veterinary Medicine, University of Missouri, Holiday Inn Executive Center, 17th - 18th April 1993, Columbia, Missouri, USA.
- Huang, C.L. & Schulte, E.E. (1985):
Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission spectroscopy.
Communications in Soil Science and Plant Analysis **16**, 943-958.
- Huchzermeyer, F.W. (1994):
Nutritional diseases. In: *Ostrich diseases*.
Agricultural Research Council, Onderstepoort Veterinary Institute, 0110 Onderstepoort, Republic of South Africa, pp. 47-58.

- Huchzermeyer, F.W. (1995):
Multifactorial diseases of young ostriches.
South African Veterinary Medicine **8** (1), 9-12.
- Huchzermeyer, F.W. (1998):
Diseases of ostriches and other ratites.
Agricultural Research Council, Onderstepoort Veterinary Institute, 0110
Onderstepoort, Republic of South Africa.
- Jensen, J.M., Johnson, J.H. & Weiner, S.T. (1992):
Clinical pathology. In: Husbandry and medical management of ostriches,
emus and rheas.
Wildlife and Exotic Animal Teleconsultants, College Station, Texas, USA,
pp. 87-92.
- Johnson, R.J. & Karunajeewa, H. (1984):
The influence of dietary electrolytes and minerals on the growth, physiology
and incidence of leg disorders of broiler chickens. Proceedings of the
Symposium of the Poultry Husbandry Research Foundation, University of
Sydney, Australia.
- Jost, R. (1993):
Über den Strauß (*Struthio camelus*) und seine kommerzielle Nutzung -
Erfahrungen und eigene Untersuchungen auf einer Straußenfarm in
Namibia.
Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades beim Fachbereich
Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen, S. 9-11.
- Joyner, K.L. (1994):
Theriogenology. Female reproductive disorders. In: Avian medicine:
Principles and application. 1st edition, Ritchie, B.W., Harrison, G.J. &
Harrison, L.R., Wingers Publishing, Inc., Lake Worth, Florida, USA, p. 758.
- Jubb, K.V.F., Kennedy, P.C. & Palmer, N. (1993):
Pathology of domestic animals.
Volume 1, 4th edition, Academic Press Inc., San Diego, USA, pp. 88-93.
- Julian, R.J. (1991):
Poisons and toxins. In: Diseases of poultry.
9th edition, Calnek, B.W. et al. (eds.), Iowa State University Press, Ames,
Iowa, USA, pp. 863-915.
- Julian, R.J. (1986):
The effect of increased mineral levels in the feed on leg weakness and
sudden death syndrome in broiler chickens.
Canadian Veterinary Journal **27**, 157-160.

- Klös, H.-G., Langner, H.J., Boenigk, G., Wandelburg, K., Pohl, H., Grund, S., Eichberg, J. & Steglich, W. (1976):
Chemische und physikalische Untersuchungen an Eierschalen von vier Laufvogelarten (*Struthioniformes*).
Zentralblatt der Veterinärmedizin A **23**, 413-428.
- Kostial, K. (1986):
Cadmium. In: Trace elements in human and animal nutrition. Vol. 2, 5th ed., Mertz, W. (ed.), Academic Press, Inc., Orlando, Florida, USA, pp. 319-345.
- Krawinkel, P. (1994):
Untersuchungen verschiedener Einflußfaktoren auf den Schlupf in der Natur- und Kunstbrut beim Afrikanischen Strauß (*Struthio camelus*) sowie weitere Daten zum Strauß.
Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades beim Fachbereich Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen, S. 3-5.
- Le Vier, R.R. (1975):
Distribution of silicon in the adult rat and rhesus monkey.
Bioinorganic Chemistry **4**, 109-115.
- Leeson, S., Diaz, G.J. & Summers, J.D. (1995):
Skeletal disorders. In: Poultry metabolic disorders and mycotoxins. University Books, Guelph, Ontario, Canada, pp. 124-189.
- Levy, A., Perelman, B., Waner, T., van Grevenbroek, M., van Creveld, C. & Yagil, R. (1989):
Reference blood chemical values in ostriches (*Struthio camelus*).
American Journal of Veterinary Research **50**, 1548-1550.
- Levy, A., Markowitz, E., van Creveld, C. & Yagil, R. (1996):
Water metabolism of laying ostriches. In: Improving our understanding of ratites in a farming environment. Proceedings, International Conference, Dalton-Ellis Hall, University of Manchester, England, 27th - 29th March 1996, Deeming, D.C. (ed.), Ratite Conference, Banbury, Oxon, UK, 127.
- Levy, A., Perelman, B., van Grevenbroek, M., van Creveld, C., Agbaria, R. & Yagil, R. (1990):
Effect of water restriction on renal function in ostriches (*Struthio camelus*).
Avian Pathology **19**, 385-393.
- Lien, T.-F. & Lu, J.-J. (1994):
The detection of ostrich serochemistry feeding under artificial environment.
Taiwan Journal of Veterinary Medicine and Animal Husbandry **63**, 25-29.

- Lien, T.-F. & Lu, J.-J. (1998):
Serochemistry of ostriches fed in an artificial environment. In: Ratites in a competitive world. Proceedings of the 2nd International Ratite Congress, Oudtshoorn, South Africa, 21st - 25th September 1998, Huchzermeyer, F.W. et al. (eds.), De Jongh's Printers, Strand, South Africa, 110.
- Louw, G.N., Belonje, P.C. & Coetzee, H.J. (1969):
Renal function, respiration, heart rate and thermoregulation in the ostrich (*Struthio camelus*).
Scientific Papers of the Namib Desert Research Station **42**, 43-54.
- Lumeij, J.T., Remple, J.D., Remple, C.J. & Riddle, K.E. (1998):
Plasma chemistry in peregrine falcons (*Falco peregrinus*): reference values and physiological variations of importance for interpretation.
Avian Pathology **27**, 129-132.
- MacPherson, A. (1994):
Selenium, vitamin E and biological oxidation. In: Recent advances in animal nutrition. Proceedings 28th Feed Manufacturers Conference, University of Nottingham, UK, Garnsworthy, P.C. & Cole, D.J.A. (eds.), Nottingham University Press, Loughborough, UK, pp. 3-30.
- Malan, A.I. (1930):
Studies in mineral metabolism (13) - The phosphorus partition of the blood of some animals.
Report of the Director of Veterinary Services and Animal Industry, Union of South Africa **16**, 328.
- Männer, K. und Bronsch, K. (1987):
Mineralstoffe. In: Lehrbuch der Veterinär-Physiologie.
7. Auflage, Wittke, G. (Hrsg.), Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, S. 93-119.
- Mayans, A.O. (1980):
Nuevo diccionario. Español - Guaraní, Guaraní - Español.
Undécima edición, Editorial Universitaria de Buenos Aires, Argentina.
- Maynard, L.A., Loosli, J.K., Hintz, H.F. & Warner, R.G. (1979):
Animal nutrition. 7th edition, McGraw-Hill, New York, USA.
- McDowell, L.R. (1992):
Minerals in animal and human nutrition.
Academic Press, Inc., San Diego, California, USA.
- Miller, E.R., Wilson, H.R. & Harms, R.H. (1977):
Serum calcium and phosphorus levels in hens relative to the time of oviposition. Poultry Science **56**, 1501-1503.

- More, S.J. (1996):
The performance of farmed ostrich chicks in eastern Australia.
Preventive Veterinary Medicine **29**, 91-106.
- Mushi, E.Z., Binta, M.G., Chabo, R.G., Isa, J.F.W. & Modisa, L. (1998):
Serum biochemical values of farmed ostrich (*Struthio camelus*) in Botswana.
Onderstepoort Journal of Veterinary Research **65**, 189-193.
- Nel, C.J. (1995):
Oorsig van volstruisboerdery: 1863 tot 1994. In: Riglyne vir suksesvolle volstruisboerdery. Edited by Klein-Karoo Landbou-Ontwikkelingssentrum, Oudtshoorn, published by Nasionale Departement van Landbou, Direktooraat Kommunikasie, Private Bag X144, Pretoria 0001, Republiek Suid-Afrika, pp. 1-5.
- Okotie-Eboh, G., Bailey, C.A., Hicks, K.D. & Kubena, L.F. (1992):
Reference serum biochemical values for emus and ostriches.
American Journal of Veterinary Research **53**, 1765-1768.
- Olowookorun, M.O. & Makinde, M.O. (1998):
A comparative assessment of erythrocyte osmotic fragility, haematological and serum biochemical values in the domestic chicken and the ostrich.
In: Ratites in a competitive world.
Proceedings of the 2nd International Ratite Congress, Oudtshoorn, South Africa, 21st - 25th September 1998, Huchzermeyer, F.W. et al. (eds.), De Jongh's Printers, Strand, South Africa, 99-101.
- Osterhoff, D.R. (1979):
Ostrich farming in South Africa.
World Review of Animal Production **11** (2), 19-30.
- Palomeque, J., Pintó, D. & Viscor, G. (1991):
Hematologic and blood chemistry values of the Masai Ostrich (*Struthio camelus*).
Journal of Wildlife Diseases **27**, 34-40.
- Paul, H.S. & Snetsinger, D.C. (1969):
Dietary calcium and phosphorus and variations in plasma alkaline phosphatase activity in relationship to physical characteristics of egg shells.
Poultry Science **48**, 241-250.
- Perelman, B. (1993):
Medical problems observed in ostriches raised under intensive conditions.
Proceedings: Ostriches (Ratites), Post Graduate Education in Veterinary Science, Slagharen, The Netherlands, 2nd March 1993, 1-10.

Phalen, D.N. (1995):

Differentiating abdominal disorders in the ostrich and the emu.
Association of Avian Veterinarians, Main Conference Proceedings, annual conference and expo, 28th August - 2nd September 1995, AAV Publications Office, Orlando, Florida, USA, 209-215.

Puls, R. (1994):

Mineral levels in animal health - diagnostic data.
2nd edition, Sherpa International, Clearbrook, Canada.

Reece, R.L. & Butler, R. (1984):

Some observations on the development of the long bones of ratite birds.
Australian Veterinary Journal **61**, 403-405.

Reed, A.H., Henry, R.J. & Mason, W.B. (1971):

Influence of statistical method used on the resulting estimate of normal range.
Clinical Chemistry **17** (4), 275-284.

Riddell, C. (1981):

Skeletal deformities in poultry.
Advances in Veterinary Science and Comparative Medicine **25**, 277-310.

Riddle, O. & Reinhart, W.H. (1926):

Studies on the physiology of reproduction in birds.
American Journal of Physiology **76**, 660-687.

Ritchie, B.W., Harrison, G.J. & Harrison, L.R. (1994):

Avian medicine: Principles and application.
Wingers Publishing Inc., Lake Worth, Florida, USA, p. 1347.

Roland, D.A., Sloan, D.R. & Harms, R.H. (1972):

Calcium metabolism in the laying hen. 2. Patterns of calcium intake, serum calcium, and fecal calcium.
Poultry Science **51**, 782-787.

Rowland, G.N., Foutz, T.L., Page, R.K., Roberts, R. & Britton, W.M. (1996):

Tibiotarsal rotation in young emus. In: Improving our understanding of ratites in a farming environment. Proceedings, International Conference, Dalton-Ellis Hall, University of Manchester, England, 27th - 29th March 1996, Deeming, D.C. (ed.), Ratite Conference, Banbury, Oxon, UK, 52-54.

Roy, M., Kiremidjian-Schumacher, L., Wishe, H.I., Cohen, M.W. & Stotzky, G. (1995):

Supplementation with selenium restores age-related decline in immune cell function.
Proceedings. Society for Experimental Biology and Medicine **209**, 369-375.

- Salomon, F.-V. (1993):
Bewegungsapparat. In: Lehrbuch der Geflügelanatomie.
Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, S. 27-126.
- Sasse, E.A. (1992):
Determination of reference intervals in the clinical laboratory using the proposed guideline National Committee for Clinical Laboratory Standards C28-P. Archives of Pathology and Laboratory Medicine **116**, 710-713.
- Schales, C. & Schales, K. (1994):
Hematology and biochemistry. Galliformes. In: Avian medicine: Principles and application. 1st edition, Ritchie, B.W., Harrison, G.J. & Harrison, L.R., Wingers Publishing, Inc., Lake Worth, Florida, USA, p. 1341.
- Scheideler, S.E., Wallner-Pendleton, E.A., Schneider, N. & Carlson M. (1994):
Determination of baseline values for skeletal (leg bone) growth, calcification, and soft tissue (liver) mineral accretion.
American Ostrich **6**, 22-59.
- Scheideler, S.E., Mandigo, R. & Angel, C.R. (1996):
Organ and gastro-intestinal size, and liver and bone mineral accretion, in adult male rheas. In: Improving our understanding of ratites in a farming environment. Proceedings, International Conference, Dalton-Ellis Hall, University of Manchester, England, 27th - 29th March 1996, Deeming, D.C. (ed.), Ratite Conference, Banbury, Oxon, UK, 129-130.
- Schmidt-Nielsen, K., Borut, A., Lee, P. & Crawford, E. (1963):
Nasal salt excretion and the possible function of the cloaca in water conservation. Science **142**, 1300-1301.
- Schultheiss, W.A. & van Niekerk, J.C. (1994):
Suspected chronic fluorosis in a sheep flock.
Journal of the South African Veterinary Association **65**, 84-85.
- Schulze, B.R. (1986):
Climate of South Africa. Part 8, General survey. 6th edition, Weather Bureau, Department of Environment Affairs, Republic of South Africa.
- Scott, M.L., Nesheim, M.C. & Young, R.J. (1976):
Nutrition of the chicken.
M.L. Scott and Associates, Ithaca, New York, USA.
- Serafin, J.A. (1981):
Nutritionally-related diseases of captive-reared cranes and ratites.
Proceedings 1981 Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers, Syracuse Sheraton Motor Inn, 3rd - 5th November 1981, Syracuse, New York, USA, Cornell University, Ithaca, New York, USA, 74-80.

Shakespeare, A.S. (1996):

Clinical cases illustrating causes of recumbent ostriches. In: Improving our understanding of ratites in a farming environment.

Proceedings, International Conference, Dalton-Ellis Hall, University of Manchester, England, 27th - 29th March 1996, Deeming, D.C. (ed.), Ratite Conference, Banbury, Oxon, UK, 55-57.

Shivaprasad, H.L. (1993):

Neonatal mortality in ostriches: an overview of possible causes.

Association of Avian Veterinarians, Proceedings of the 1993 Annual Conference, Nashville, Tennessee, USA, 31st August - 4th September 1993, AAV Education Office, Lake Worth, Florida, USA, 282-293.

Shivaprasad, H.L. (1995):

Observations on the cartilaginous cores in the long bones of ostrich chicks.

Association of Avian Veterinarians, Main Conference Proceedings, annual conference and expo, 28th August - 2nd September 1995, AAV Publications Office, Orlando, Florida, USA, 247-248.

Singer, L. & Armstrong, W.D. (1968):

Determination of fluoride in bone with the fluoride electrode.

Analytical Chemistry **40**, 613-614.

Skadhauge, E., Warüi, C.N., Kamau, J.M.Z. & Maloiy, G.M.O. (1984):

Function of the lower intestine and osmoregulation in the ostrich: Preliminary anatomical and physiological observations.

Quarterly Journal of Experimental Physiology **69**, 809-818.

Smit, D.J.v.Z. (1963):

Ostrich farming in the Little Karoo. Department of Agricultural Technical Services, Republic of South Africa, Bulletin 358.

Speer, B.L. (1996):

Developmental problems in young ratites. In: Ratite management, medicine and surgery. 1st edition, Tully, T.N. & Shane, S.M. (eds.), Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, USA, pp. 147-154.

Stadelman, W.J. & Pratt, D.E. (1989):

Factors influencing composition of the hen's egg.

World's Poultry Science Journal **45**, 247-266.

Steckel, J.E. & Flannery, R.L. (1971):

Simultaneous determinations of phosphorus, potassium, calcium and magnesium in wet digestion solutions of plant tissue by autoanalyser. In: Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue.

Walsh, L.M. (ed.), Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA, pp. 83-96.

- Stewart, J. (1994a):
Hematology and biochemistry. Ratites. In: Avian medicine: Principles and application. 1st edition, Ritchie, B.W., Harrison, G.J. & Harrison, L.R. (eds.), Wingers Publishing Inc., Lake Worth, Florida, USA, p. 1347.
- Stewart, J. (1994b):
Ratites. In: Avian medicine: Principles and application. 1st edition, Ritchie, B.W., Harrison, G.J. & Harrison, L.R. (eds.), Wingers Publishing Inc., Lake Worth, Florida, USA, pp. 1284-1326.
- Stoskopf, M.J., Beall, F.B., Ensley, P.K. & Neely, E. (1982):
Immobilization of large ratites: Blue Necked Ostrich (*Struthio camelus austrealis*) and Double Wattled Cassowary (*Casuarius casuarius*) - with hematologic and serum chemistry data.
Journal of Zoo Animal Medicine **13**, 160-168.
- Sturkie, P.D. & Mueller, W.J. (1976):
Reproduction in the female and egg production. In: Avian physiology. 3rd edition, Sturkie, P.D. (ed.), Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, Inc., pp. 302-330.
- Subramanian, K.S. & Meranger, J.-C. (1985):
Graphite furnace atomic absorption spectrometry with nitric acid deproteinization for determination of manganese in human plasma.
Analytical Chemistry **57**, 2478-2481.
- Swart, D. (1980):
Oorsake en voorkoming van vrektes by volstruiskuiens.
Winterreëvalnuusbrief, Special Edition 2, Proefplaas Oudtshoorn, Oudtshoorn, Republic of South Africa.
- Theron, P.F., Rimmer, R. & Nicholls, H.A. (1974):
Causes of variation of copper, iron, manganese, zinc and magnesium levels in bovine livers. 2: The dispersion of trace metals in bovine livers and the effects of formalinized storage on mineral concentrations and moisture content.
Journal of the South African Veterinary Association **45**, 73-76.
- Van Heerden, J., Dauth, J., Jarvis, M.J.F., Keffen, R.H., Denny, J.E.F.M., Dreyer, M.J. & Kriek, N.P.J. (1985):
Blood chemical and electrolyte concentrations in the ostrich (*Struthio camelus*).
Journal of the South African Veterinary Association **56**, 75-79.
- Van Heerden, J., Hayes, S.C. & Williams, M.C. (1983):
Suspected vitamin E-selenium deficiency in two ostriches.
Journal of the South African Veterinary Association **54**, 53-54.

- Van Creveld, C., Levy, A., Markowitz, E. & Yagil, R. (1996):
Endocrinology of egg formation. In: Improving our understanding of ratites in a farming environment. Proceedings, International Conference, Dalton-Ellis Hall, University of Manchester, England, 27th - 29th March 1996, Deeming, D.C. (ed.), Ratite Conference, Banbury, Oxon, UK, 165-166.
- Van der Heyden, N., Fulton, R.M., DeNicola, D.B. & Hicks, K. (1992):
Lymphoma in an ostrich (*Struthio camelus*).
Association of Avian Veterinarians, Proceedings of the 1992 Annual Conference, New Orleans, Louisiana, USA, 1st - 5th September 1992, AAV Education Office, Lake Worth, Florida, USA, 310-312.
- Van Zyl, P. (1996):
A global perspective of the ostrich industry.
Unpublished. Senior Agricultural Economist, Department of Agriculture, Oudtshoorn Experimental Farm, PO Box 351, Oudtshoorn 6620, Republic of South Africa.
- Vanhooser, S.L., Stair, E., Edwards, W.C., Labor, M.R. & Carter, D. (1994):
Aortic rupture in ostrich associated with copper deficiency.
Veterinary and Human Toxicology **36**, 226-227.
- Wade, J.R. (1992):
Ratite pediatric medicine and surgery.
Association of Avian Veterinarians, Proceedings of the 1992 Annual Conference, New Orleans, Louisiana, USA, 1st - 5th September 1992, AAV Education Office, Lake Worth, Florida, USA, 340-353.
- Withers, P.C. (1983):
Energy, water, and solute balance of the ostrich (*Struthio camelus*).
Physiological Zoology **56**, 568-579.
- Wolf, P., Kummerfeld, N. & Mischok, D. (1996):
Fallberichte: Störungen der Skelettentwicklung von Emus und Nandus durch Fütterungsfehler. DGS-Magazin: Fachinformationen für die Geflügelwirtschaft und Schweineproduktion, Woche 44, 45-47.
- Yagil, R., van Creveld, C., Markowitz, E. & Levy, A. (1996):
Urine production and health status in ostriches. In: Improving our understanding of ratites in a farming environment.
Proceedings, International Conference, Dalton-Ellis Hall, University of Manchester, England, 27th - 29th March 1996, Deeming, D.C. (ed.), Ratite Conference, Banbury, Oxon, UK, 59.
- Zasoski, R.J. & Burau, R.G. (1977):
A rapid nitric-perchloric acid digestion method for multi-tissue analysis.
Communications in Soil Science and Plant Analysis **8**, 425-436.

9. ANHANG

9.1 Umrechnungsfaktoren für verschiedene Einheiten

1 mmol/l	=	1000 µmol/l	1 µmol/l	=	0,001 mmol/l
1 mg/l	=	1000 µg/l	1 µg/l	=	0,001 mg/l
1 mg/dl	=	10 mg/l	1 mg/l	=	0,1 mg/dl
1 mg/kg	=	1000 µg/kg	1 µg/kg	=	0,001 mg/kg
1 mg/g	=	1000 mg/kg	1 mg/kg	=	0,001 mg/g
1 g/kg	=	1000 mg/kg	1 mg/kg	=	0,001 g/kg
1 %	=	10.000 mg/kg	1 mg/kg	=	0,0001 %
1 ppm	=	1 mg/kg	1 ppb	=	1 µg/kg

Eine Umrechnung von Masse/Volumen in Masse/Masse oder anders herum ist ohne bekannte Dichte der Flüssigkeit nicht möglich. Dann können beispielsweise beim Serum mg/kg nicht in mg/l oder mmol/l umgerechnet werden. Bei bekannter Dichte gelten folgende Umrechnungsformeln:

$$1 \text{ mg/kg} \times \text{Dichte } y \text{ (in kg/l)} = y \text{ mg/l} \quad 1 \text{ mg/l} \div \text{Dichte } y \text{ (in kg/l)} = y \text{ mg/kg}$$

Umrechnungsfaktoren für die im Serum untersuchten Elemente nach dem "Système internationale d'unités" (ANONYM, 1977; ANONYM, 1982):

Umrechnung mmol/l → mg/l oder µmol/l → µg/l:

mmol/l		x	Molmasse	=	mg/l
µmol/l		x	Molmasse	=	µg/l
Chlor (Cl)	mmol/l	x	35,47	=	mg/l
Chrom (Cr)	mmol/l	x	52,01	=	mg/l
Eisen (Fe)	mmol/l	x	55,84	=	mg/l
Kalium (K)	mmol/l	x	39,09	=	mg/l
Kalzium (Ca)	mmol/l	x	40,08	=	mg/l
Kobalt (Co)	mmol/l	x	58,94	=	mg/l

Kupfer (Cu)	mmol/l	x	63,53	=	mg/l
Magnesium (Mg)	mmol/l	x	24,31	=	mg/l
Mangan (Mn)	mmol/l	x	54,93	=	mg/l
Natrium (Na)	mmol/l	x	22,997	=	mg/l
Phosphat (PO ₄)	mmol/l	x	94,97	=	mg/l
Phosphor (P)	mmol/l	x	30,97	=	mg/l
Selen (Se)	mmol/l	x	78,96	=	mg/l
Zink (Zn)	mmol/l	x	65,38	=	mg/l

Umrechnung mg/l → mmol/l oder µg/l → µmol/l:

mg/l		÷	Molmasse	=	mmol/l
µg/l		÷	Molmasse	=	µmol/l
Chlor (Cl)	mg/l	÷	35,47	=	mmol/l
Chrom (Cr)	mg/l	÷	52,01	=	mmol/l
Eisen (Fe)	mg/l	÷	55,84	=	mmol/l
Kalium (K)	mg/l	÷	39,09	=	mmol/l
Kalzium (Ca)	mg/l	÷	40,08	=	mmol/l
Kobalt (Co)	mg/l	÷	58,94	=	mmol/l
Kupfer (Cu)	mg/l	÷	63,53	=	mmol/l
Magnesium (Mg)	mg/l	÷	24,31	=	mmol/l
Mangan (Mn)	mg/l	÷	54,93	=	mmol/l
Natrium (Na)	mg/l	÷	22,997	=	mmol/l
Phosphat (PO ₄)	mg/l	÷	94,97	=	mmol/l
Phosphor (P)	mg/l	÷	30,97	=	mmol/l
Selen (Se)	mg/l	÷	78,96	=	mmol/l
Zink (Zn)	mg/l	÷	65,38	=	mmol/l

Umrechnung mEq/l → mmol/l oder mmol/l → mEq/l:

Chlor (Cl ⁻)	mEq/l	x	1,0	=	mmol/l
Eisen (Fe ²⁺)	mEq/l	÷	2,0	=	mmol/l
Kalium (K ⁺)	mEq/l	x	1,0	=	mmol/l

mmol/l x 2,0 = mEq/l

Kalzium (Ca^{2+})	mEq/l	÷ 2,0	=	mmol/l	mmol/l x 2,0	=	mEq/l
Magnesium (Mg^{2+})	mEq/l	÷ 2,0	=	mmol/l	mmol/l x 2,0	=	mEq/l
Natrium (Na^+)	mEq/l	x 1,0	=	mmol/l			
Phosphat (PO_4^{3-})	mEq/l	x 3,0	=	mmol/l	mmol/l ÷ 3,0	=	mEq/l

9.2 Abkürzungen

µg	Mikrogramm
µl	Mikroliter
µmol	Mikromol
°C	Grad Celsius

AAS	Atomabsorptionsspektrophotometrie
Al	Aluminium
As	Arsen
Ca	Kalzium
Cd	Cadmium
Cl	Chlor
Co	Kobalt
conc.	konzentriert
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
deion.	deionisiert
F	Fluor
Fe	Eisen
FeuM	Feuchtmasse
ff TM	fettfreie (Knochen-) Trockenmasse
FM	Frischmasse
g	Gramm
h	Stunde(n)
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrophotometry

In	Indium
inP	anorganischer Phosphor (engl. inorganic phosphorus)
inPO ₄	anorganisches Phosphat (engl. inorganic phosphate)
juv.	juvenil
K	Kalium
kg	Kilogramm
ℓ	Liter
mg	Milligramm
Mg	Magnesium
min	Minute(n)
ml	Milliliter
mmol	Millimol
Mn	Mangan
n	Anzahl der Proben oder Tiere
Na	Natrium
nff TM	nicht fettfreie (Knochen-) Trockenmasse
P	Phosphor
p.a.	per annum (pro Jahr)
Pb	Blei
PO ₄	Phosphat
R	Spannweite, auch Wertespannweite, Wertebereich oder Variationsbreite (engl. range)
s	Standardabweichung (engl. standard deviation)
Se	Selen
Si	Silizium
sp./spp.	Spezies (Singular/Plural)
TM	Trockenmasse
totP	Gesamtphosphor (engl. total phosphorus)
wwt	Frisch- oder Feuchtmasse (engl. wet weight)
Zn	Zink
\bar{x}	arithmetischer Mittelwert (engl. arithmetic mean)

DANKSAGUNG

Herrn Dr. F. W. Huchzermeyer, Ph.D. und Herrn Prof. Dr. E. F. Kaleta danke ich sehr herzlich für die Überlassung des Themas, für die jederzeit anregende Unterstützung und fachliche Beratung beim Anfertigen der Dissertation und für die Durchsicht derselben.

Mein besonderer Dank gilt den Mitarbeitern des Onderstepoort Veterinary Institute, Agricultural Research Council, Onderstepoort, Südafrika. Hier möchte ich besonders Herrn Dr. D. J. Verwoerd für die fachliche Betreuung und seine Hilfe bei organisatorischen Problemen danken, außerdem allen Mitarbeitern der Straußenabteilung, der Pathologie, der Toxikologie, der Institutsbibliothek, der GIS-Abteilung (Geographic Information System) und des Computerzentrums für ihre große Hilfsbereitschaft. Zusätzlich möchte ich der Straußenabteilung für die finanzielle Unterstützung des Projekts und der Toxikologie für die Unterstützung bei der Durchführung der Analysen danken.

Ein besonderer Dank gilt auch den Mitarbeitern des Chemischen Labors des Institute for Soil, Climate and Water, Agricultural Research Council, Pretoria, Südafrika, für ihre Unterstützung bei der Entwicklung und Modifikation der Methoden und bei der Durchführung der Analysen.

Bei den Direktoren des Onderstepoort Veterinary Institute, Agricultural Research Council, Südafrika, und des Instituts für Zoo- und Wildtierforschung im Forschungsverbund Berlin e.V. möchte ich mich für die finanzielle Unterstützung durch ein Stipendium aus dem Friedrich-Kleine-Fond bedanken.

Für die finanzielle Förderung des Projekts möchte ich den Firmen Volos Ostrich Feeds, Randburg, Südafrika, und Meadow Feed Mills, Randburg, Südafrika, danken, die einen Großteil der Projektkosten getragen haben.

Außerdem bedanke ich mich bei meinen Eltern, Herrn Armin Walz und allen, die mir auf irgendeine Weise bei der Durchführung dieser Arbeit geholfen haben.